

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТАДЖИКИСТАНА,  
ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ХИМИКО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УДК 6+004.41+778.1:677.04-035.67 (575.3)

*На правах рукописи*

ББК 37.21+37.244.



**ЮСУФЗОДА ШАХНОЗА АЗИЗБЕК**

**РАЗРАБОТКА СОКРАЩЁННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ К  
ЦИФРОВОЙ ПРЯМОЙ ПЕЧАТИ АКТИВНЫМИ ЧЕРНИЛАМИ НА  
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЯХ**

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности 2.11.4. Технология и  
первичная обработка текстильных материалов и сырья

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

**Анушервони Шовалихон**

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор

**Чешкова А.В.**

Душанбе – 2026 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....</b>	<b>16</b>
1.1 Цифровая печать как способ воссоздания исторических и создания новых национальных орнаментов на современных материалах.....	16
1.2 Чернила на основе активных красителей в цифровой печати...	25
1.3 Характеристики цвета в текстильной печати.....	28
1.4 Промышленное оборудование для прямой цифровой печати активными чернилами.....	31
1.5 Особенности предпечатной подготовки текстильного материала перед цифровой печатью чернилами на основе активных красителей.....	39
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....</b>	<b>48</b>
1.1 Технические свойства хлопчатобумажной ткани, используемой в работе.....	48
2.2 Методики подготовки хлопчатобумажной ткани.....	52
2.3 Технология предподготовки перед цифровой печатью.....	54
2.4 Методы определения колористических характеристик окрасок ..	57
2.4.1 Определение цветовых характеристик.....	57
2.4.2 Оценка колористических характеристик напечатанных образцов.....	59
2.4.3 Определение степени фиксации активных красителей, входящих в состав чернил.....	60
2.4.4 Определение гидрофильных свойств тканей.....	61
2.4.5 Устойчивость печати к физико-химическим воздействиям.....	61
2.4.6 Методы допечатной обработки цифрового изображения.....	62
<b>ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....</b>	<b>63</b>
3.1 Получение цифровых аналогов и цифровых паттернов.....	63

3.2	Влияние параметров настройки цифрового аналога на результаты печати.....	66
3.3	Влияние способа подготовки хлопчатобумажной ткани на технические свойства материала и результат цифровой печати...	73
3.4	Оптимизация условий цифровой печати на стадии предподготовки.....	88
3.5	Разработка состава для предварительной предпечатной обработки целлюлозной ткани.....	95
3.6	Производственные испытания: влияние подготовки ткани и концентрации пероксида водорода на охват и качество печати....	108

<b>ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ .....</b>	<b>120</b>
4.1. Исходные данные и принятые допущения.....	120
4.2. Экономическая эффективность за счёт сокращения затрат на подготовку ткани .....	121
4.3. Экономическая эффективность за счёт снижения расхода активных чернил.....	123
4.4. Сравнение цифровой и ротационной печати по затратным факторам.....	124
4.5. Суммарный экономический эффект от внедрения.....	126
4.6. Производственная апробация и внедрение .....	127
<b>ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ.....</b>	<b>130</b>
Список литературы.....	133
Публикации автора.....	149
Приложения.....	155

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** «Современная текстильная промышленность всё больше интегрирует цифровые технологии, что обуславливается потребностью в повышении эффективности производства, его экологизации и улучшении качества продукции» [2–4]. Одним из перспективных направлений является цифровая прямая печать активными чернилами, которая позволяет существенно сократить расходы на обслуживание печатного оборудования, реализовать сложные цветовые и орнаментальные решения на текстильных материалах. «Однако результативность такого подхода во многом зависит от качества подготовки как цифрового изображения, так и самой ткани» [2, 3]. Отсутствие стандартизированных методов предсказания цветопередачи на текстильном материале и неизменности изображения после печати требует дополнительных научных изысканий, направленных на оптимизацию процесса предпечатной подготовки и печати в целом.

Особенно актуальна цифровая печать для современных хлопчатобумажных тканей (сатин, поплин, бязь, молескин и др.), выработанных из хлопка высокого качества, с минимальной засорённостью остатками семенной коробочки. «Для колорирования таких тканей требуются разработки нового подхода к физико-химическим процессам подготовки в рамках отделочного производства с учётом нового качества суровья и специфики цифровой печати» [1, 5]. «С целью сохранения ценных свойств природной целлюлозы и её сопутствующих примесей, в том числе природных красящих веществ, и в то же время придания материалам требуемой гигроскопичности и капиллярных свойств, важных для печати активными красителями, особо перспективно применение ферментативных процессов» [6–13]. «Подготовка хлопчатобумажных тканей с применением высокоселективных низкотемпературных ферментов является одним из возможных путей создания сокращённых, ресурсо- и энергосберегающих экологических режимов печати» [6–9, 12, 13]. Ферментативные способы подготовки широко изучены в технологиях крашения активными красителями, однако исследования по

созданию биоподготовки хлопчатобумажных тканей для цифровой печати активными чернилами остаются недостаточно разработанными.

«Цифровая печать также зависит от параметров цифрового аналога изображения, таких как контрастность, яркость и масштаб» [2–4]. «Недостаточное внимание к этим аспектам может привести к ухудшению качества конечного продукта, снижению цветопередачи и долговечности» [3, 4]. В связи с этим исследование влияния подготовки цифрового изображения на результат печати, а также оценка возможных способов улучшения качества печати на хлопчатобумажных тканях посредством модификации подготовки ткани представляют собой актуальную научную задачу.

Целью проводимых в диссертационной работе исследований является повышение качества прямой цифровой печати хлопчатобумажных тканей чернилами на основе активных красителей за счёт применения комплексного подхода, заключающегося в рационализации этапа подготовки изображения и стадии ферментативной подготовки в сочетании с катионизацией, изменяющей поверхностные свойства материала.

Таким образом, тема исследования, связанная с изучением влияния подготовки цифрового изображения и хлопчатобумажных тканей на качество цифровой печати активными чернилами, является актуальной в условиях роста спроса на высококачественные текстильные изделия и стремления к улучшению экологичности и эффективности производства.

**Степень изученности научной темы.** В научной литературе вопросы цифровой прямой печати по целлюлозным тканям активными чернилами разработаны ограниченно и преимущественно фрагментарно. «В работах Н.Н. Гранатовича рассмотрены вопросы эффективной подготовки текстильных материалов под цифровую печать активными красителями с применением катионных препаратов» [22]. «В исследованиях Н.А. Топорищевой раскрыты технологические возможности ферментной подготовки целлюлозосодержащих тканей и её влияние на процессы последующего колорирования» [99]. «В работах А.В. Чешковой ферментативная подготовка рассматривается как

экологически ориентированный способ улучшения свойств хлопковых, полушёлковых и котонинсодержащих тканей перед крашением активными красителями» [78]. «Н.Н. Ясинская исследовала применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию» [102]. «Н.В. Скобова рассматривала экспериментальные аспекты биообработки льняных тканей и её влияние на свойства текстильного материала» [101]. «В работе Т. Tzanov показаны возможности биоподготовки хлопчатобумажных тканей с использованием ферментативных процессов» [114]. А.С. Aly рассматривал биотехнологическую обработку целлюлозных текстильных материалов как один из путей экологизации отделочного производства [115].

Отдельные публикации посвящены задачам управления цветом, воспроизводимости и прогнозирования колориметрических характеристик в цифровой текстильной печати. «В. Gooby анализирует методологические подходы к цветной цифровой струйной печати на текстиле и применению знаний о цвете в проектировании печатного изображения» [26]. «D. Javoršek рассматривает вопросы цветового менеджмента в цифровой текстильной печати и проблемы согласования цифрового оригинала с печатным результатом» [27]. «S. Moon исследует точность и воспроизводимость цвета в цифровой текстильной печати, а также расхождения цветопередачи между различными носителями воспроизведения» [29].

Вместе с тем указанные исследования в основном раскрывают отдельные стороны рассматриваемой проблемы: катионную модификацию хлопчатобумажных материалов, ферментную подготовку целлюлозных тканей, управление цветом и воспроизводимость отпечатка. Особенности комплексного влияния параметров цифрового аналога изображения, биоотварки и катионной обработки хлопчатобумажной ткани на качество прямой цифровой печати активными чернилами раскрыты недостаточно полно.

Отличие настоящего исследования состоит в комплексном установлении влияния параметров цифрового аналога изображения и вариантов подготовки

хлопчатобумажной ткани, включая биоотварку и катионную обработку, на колориметрические показатели отпечатка, а также в получении зависимостей, пригодных для прогнозирования качества цифровой прямой печати активными чернилами на текстильных плоттерах.

**Связь исследований с программами (проектами) и научной тематикой.** Диссертационное исследование имеет непосредственную связь с Национальной стратегией развития Республики Таджикистан на период до 2030 года, Среднесрочной программой развития Республики Таджикистан на 2021 – 2025 годы, Программой ускоренной индустриализации Республики Таджикистан на 2020–2025 годы, а также с Концепцией цифровой экономики в Республике Таджикистан, утверждённой постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 декабря 2019 года № 642. Тема исследования соответствует задачам технологической модернизации, цифровизации производственных процессов, развития перерабатывающей промышленности, повышения конкурентоспособности отечественной текстильной продукции и внедрения инновационных технологий в лёгкой промышленности.

Вместе с тем исследование связано со Стратегией развития “зелёной” экономики в Республике Таджикистан на 2023 – 2037 годы и Приоритетными направлениями научных и научно – технических исследований в Республике Таджикистан на период до 2030 года, поскольку направлено на применение ресурсосберегающих, экологически безопасных и цифровых технологий при подготовке и печати хлопчатобумажных тканей. На институциональном уровне работа связана с научными направлениями кафедры технологии текстильных изделий Технологического университета Таджикистана и планом научно – исследовательских работ университета по совершенствованию технологий подготовки, отделки и цифровой печати целлюлозосодержащих тканей с использованием активных красителей.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Цель исследования.** Цель работы заключается в изучении влияния подготовки цифрового изображения и ткани на результат цифровой печати, а также в оптимизации параметров цифрового аналога рисунка и способа подготовки для получения качественного рисунка на хлопчатобумажных тканях по рациональной и экономной технологии.

**Задачи исследования.** Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- Исследовать влияние ключевых параметров подготовки цифрового изображения (контрастность, яркость, масштаб) на колориметрические характеристики печатного орнамента.
- Установить зависимость между цветовыми характеристиками отпечатанного орнамента и параметрами цифрового оригинала.
- Провести сравнительную оценку воздействия различных методов предварительной подготовки текстильного материала (в том числе биоотварки с применением ферментных препаратов) на качество цифровой печати активными чернилами.
- Провести оценку эффективности катионизации текстильного материала, подвергнутого различным способам подготовки, на цветовые характеристики печатного рисунка, а также обосновать возможность интенсификации процесса струйной печати активными чернилами за счёт оптимизации предпечатного состава.

**Объект исследования.** Целлюлозосодержащие хлопчатобумажные ткани, подготавливаемые к прямой цифровой печати активными красителями.

**Предмет исследования.** Влияние параметров цифрового оригинала изображения, способов ферментативной и катионной подготовки, а также состава предпечатной композиции на колориметрические показатели, степень фиксации красителя и качество напечатанного рисунка на хлопчатобумажных тканях.

**Теоретическую основу исследования** составляют положения технологии отделки целлюлозосодержащих текстильных материалов и цифровой струйной печати, физико – химические представления о смачивании, капиллярном проникновении и удержании водных красочных систем в структуре хлопчатобумажной ткани, а также основы химии активных красителей и механизмов их фиксации на целлюлозе. В качестве теоретической базы подготовки ткани использованы представления о влиянии предварительной обработки (в том числе ферментативной биоотварки) на гидрофильность, сорбционные свойства и равномерность смачивания материала, определяющие чёткость рисунка, интенсивность окраски и устойчивость цветовых параметров. Теоретическое обоснование применения катионных и амфолитных ПАВ и полиэлектролитов опирается на концепции модификации поверхностного заряда целлюлозы и усиления сорбции анионных активных красителей. Оценка результатов печати основана на методах колориметрии (CIE Lab,  $\Delta E$ , показатели интенсивности) и рассмотрении параметров цифрового оригинала (яркость, контрастность, масштаб) как управляемых факторов, влияющих на воспроизводимость цветопередачи.

**Научная новизна** работы заключается в установлении зависимостей между параметрами цифрового изображения и цветовыми характеристиками печатного рисунка на хлопчатобумажных тканях, различными способами подготовки. Впервые проводится исследование влияния биоотварки с ферментами на подготовку тканей к цифровой печати активными чернилами.

- Впервые определено влияние параметров цифрового оригинала изображения, в том числе контрастности, яркости и масштаба, на колориметрические показатели напечатанного рисунка на хлопчатобумажных тканях при прямой цифровой печати активными красителями.

- Обосновано влияние различных способов подготовки хлопчатобумажных тканей, включая ферментативную биоподготовку и катионную обработку, на качество цифровой печати, яркость, интенсивность окраски, степень фиксации красителя и устойчивость напечатанного рисунка.

- Установлена зависимость между составом предпечатной композиции, состоянием поверхности хлопчатобумажной ткани и показателями качества печати; доказана эффективность использования амфолитных и катионных веществ для улучшения результатов прямой цифровой печати активными красителями.

- Предложен сокращённый технологический подход к подготовке хлопчатобумажных тканей к прямой цифровой печати и обоснована возможность прогнозирования качества печати на основе параметров цифрового изображения и способа подготовки ткани.

### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Установленные зависимости влияния параметров цифрового оригинала изображения, включая контрастность, яркость и масштаб, на колориметрические показатели напечатанного рисунка на хлопчатобумажных тканях при прямой цифровой печати активными красителями.

2. Научно обоснованный способ подготовки хлопчатобумажных тканей к прямой цифровой печати активными красителями, включающий ферментативную биоподготовку и катионную обработку, обеспечивающий повышение качества печати, интенсивности окраски, степени фиксации красителя и устойчивости напечатанного рисунка.

3. Технологическое обоснование сокращённой схемы предпечатной подготовки хлопчатобумажных тканей с применением амфолитных и катионных веществ, позволяющей улучшить качество цифровой печати, повысить воспроизводимость цветопередачи и снизить технологические затраты.

**Теоретическая и практическая значимость исследования** работы заключается в развитии знаний о взаимосвязи параметров цифрового изображения и подготовки ткани с качеством цифровой печати, что расширяет научные представления о процессах цифровой печати на текстильных материалах. В работе проведена систематизация данных по цифровой печати на хлопчатобумажных тканях и обоснован принципиально новый подход к

процессу подготовки. Определена её цель, заключающаяся не в максимальном удалении сопутствующих веществ и примесей, а в обеспечении модификации природной целлюлозы, за счёт применения ферментативных процессов, обеспечивающих селективное удаление технологических загрязнений (крахмальная шлихта), частичное удаление сопутствующих примесей хлопкового волокна и как результат сохранение целлюлозы, исключение растекания капли чернил в процессе струйной печати на качественную печать активными красителями.

Практическая значимость заключается в разработке и экспериментальном обосновании рекомендаций по оптимизации параметров цифрового оригинала (яркость, контрастность, масштаб) и схемы предпечатной подготовки хлопчатобумажных тканей для повышения качества цифровой прямой печати активными чернилами. Результаты работы ориентированы на применение в технологической практике предприятий лёгкой промышленности при внедрении цифровых методов декорирования и позволяют повысить воспроизводимость цветопередачи, чёткость элементов орнамента и стабильность цветовых характеристик отпечатка, а также сократить долю брака и технологических потерь.

Специфика цифровой струйной печати состоит в формировании изображения путём дозированного нанесения на предварительно подготовленный текстильный материал микрокапель чернил, что предъявляет повышенные требования к поверхностному состоянию ткани и её капиллярно-пористой структуре. Предпечатная подготовка выполняет функции стабилизации формы полотна в процессе печати, ограничения растекания капли, обеспечения равномерного проникновения красителя и повышения степени его фиксации на целлюлозном субстрате. В отличие от традиционных печатных паст, текстильные струйные чернила представляют собой низковязкие системы, содержащие краситель и комплекс текстильных вспомогательных веществ (в том числе ПАВ), поэтому механическое перенесение подходов, разработанных для печатных паст, не обеспечивает

требуемой устойчивости и воспроизводимости результата при печати активными чернилами. Это обуславливает необходимость технологической адаптации предпечатной подготовки хлопчатобумажных тканей с учётом свойств активных чернил и требований к капиллярным характеристикам материала.

В рамках исследования предложен и апробирован подход к адаптации предпечатной подготовки хлопчатобумажных тканей (включая оптимизацию режимов подготовки и применение интенсифицирующих добавок) для повышения качества цифровой печати при использовании стандартных активных чернил производителя без изменения их рецептуры. Полученные результаты и разработанные рекомендации могут быть использованы при разработке технологических регламентов цифровой печати на хлопчатобумажных тканях и при настройке процессов на производственном оборудовании.

**Степень достоверности результатов диссертации** обеспечивается теоретико – методологической обоснованностью исследования, правильным выбором объекта и предмета исследования, применением современных физико-химических, технологических и колориметрических методов оценки качества цифровой печати, а также соответствием использованных методов цели и задачам диссертационной работы.

Достоверность полученных результатов подтверждается проведением экспериментальных исследований по подготовке хлопчатобумажных тканей различными способами, включая ферментативную подготовку, катионную обработку и применение предпечатных композиций, а также печатью образцов в производственных условиях. Полученные результаты проверены путём измерения колориметрических показателей в системе CIELab, определения цветового различия, оценки степени фиксации красителя, устойчивости окраски и статистической обработки экспериментальных данных.

Обоснованность научных выводов подтверждается согласованностью теоретических положений с экспериментальными данными,

воспроизводимостью результатов, применением стандартных приборов и методов анализа, а также сопоставлением полученных данных с результатами научных исследований отечественных и зарубежных авторов. Основные результаты исследования обсуждены на международных и республиканских научно-практических конференциях и опубликованы в научных изданиях.

Практическая достоверность результатов диссертации также подтверждается получением малого патента Республики Таджикистан, проведением производственных испытаний и наличием актов внедрения результатов исследования в производственную деятельность. Указанные факторы свидетельствуют о том, что полученные результаты являются обоснованными, проверенными и пригодными для использования в технологии подготовки и цифровой печати хлопчатобумажных тканей.

#### **Соответствие диссертации паспорту научной специальности.**

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.11.4. Технология и первичная обработка текстильных материалов и сырья по следующим пунктам: пункт 3. Методы оптимизации технологических процессов на основе системного подхода к качеству входного продукта, технологического процесса и выходного продукта; пункт 15. Физико-химические основы основных технологических операций обработки текстильных материалов в отделочном производстве; пункт 16. Экологические проблемы красильно-отделочного производства и пути решения этих проблем; пункт 17. Основные принципы колорирования текстильных изделий.

#### **Личный вклад соискателя учёной степени в подготовке диссертации.**

Соискателем сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы объект и предмет, разработана программа эксперимента. Лично выполнены подготовка хлопчатобумажных образцов в различных состояниях (включая ферментативную биоотварку), проведение печатных экспериментов с варьированием параметров цифрового изображения (контрастность, яркость, масштаб) и факторов предпечатной подготовки, а также колориметрические измерения и статистическая обработка данных. Соискателем установлены

корреляционные зависимости между параметрами цифрового оригинала и цветовыми характеристиками отпечатка, обоснована эффективность применения катионных/амфолитных ПАВ и полиэлектролитов для повышения качества и воспроизводимости цифровой активной печати. Формулирование выводов и положений, выносимых на защиту.

**Апробация и внедрение.** Материалы диссертационного исследования доложены и апробированы на международных научно-практических конференциях: «Отечественный и зарубежный опыт при подготовке высококвалифицированных кадров для промышленных предприятий» (Ташкент, 2022); «Инновационные материалы и технологии в дизайне» (Санкт-Петербург, 2023); Всероссийской конференции с международным участием «Материаловедение» (Казань, 2023); «Роль дуального образования в подготовке высококвалифицированных кадров для отраслевых предприятий» (Ташкент, 2023); «Инновационное развитие техники и технологий в промышленности» (Москва, 2024). Результаты исследования представлены также на отечественных научных мероприятиях: «Реализация ускоренной индустриализации Республики Таджикистан как четвертой цели национальной стратегии: проблемы и решения» (Душанбе, 2021); «Взаимосвязь науки с производством в процессе ускоренной индустриализации Республики Таджикистан» (Душанбе, 2022); «Эффективность соотношения науки с производством в условиях ускоренной индустриализации» (Душанбе, 2024); «Научное сотрудничество в евразийском пространстве: цифровизация и модернизация промышленности с применением искусственного интеллекта» (Душанбе, 2025); «Инновационные модели и механизмы государственного управления в условиях трансформации» (Душанбе, 2025). Отдельные положения диссертации неоднократно обсуждались на заседаниях кафедры технологии текстильных изделий и на заседаниях Учёного совета Технологического университета Таджикистана.

Практическая значимость результатов подтверждена получением малого патента «Способ предварительной катионизации целлюлозной ткани для

цифровой печати активными красителями» № 2502114 (опубл. 16.06.2025), проведением производственных испытаний цифровой печати оригинальных орнаментов «Икат» активными красителями на текстильном принтере (ОАО «Самойловский текстиль», г. Иваново, 23.08.2023), а также внедрением результатов научно-исследовательской работы по экспериментальной печати на хлопчатобумажной ткани сатинового переплетения с использованием орнаментов, созданных в программном обеспечении Inkscape (ООО «Пилаи точик», г. Душанбе, 20.09.2025).

**Публикации по теме диссертации** основанные на полученных данных диссертационного исследования включают: 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК при Президенте РТ и Российской Федерации, 2 статьи в журналах, индексируемых в международных базах научного цитирования (Скопус), 14 статей в других научных журналах, 1 малый патент Республики Таджикистан и 2 акта о внедрении.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация написана в традиционной форме: введение, общая характеристика работы, литературный обзор, описание объектов и методов исследования, обсуждения экспериментальных данных, расчёт экономической эффективности, заключение и список использованных литературных источников. В работе приведено 38 таблиц, 50 рисунков, 124 литературных источника.

## ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### 1.1. Цифровая печать как способ воссоздания исторических и создания новых национальных орнаментов на современных материалах

Цифровая печать обладает преимуществами перед ротационной печатью с сетчатыми шаблонами, но требует специальной подготовки изображения орнамента. «Технологический процесс реализуется на специализированных цифровых текстильных принтерах, обеспечивающих высокое разрешение воспроизведения изображения за счёт управляемого капельно – струйного формирования красочного слоя в соответствии с цифровым макетом» [1,2].

Рынок цифровой печати по текстилю развивается благодаря рыночным тенденциям, техническим инновациям и новым производственным решениям. «В 2023-2024 году одной из главных тенденций стала одноэтапная цифровая печать по хлопчатобумажным тканям с использованием пигментных и активных чернил» [3,4]. Рынок цифровой печати по текстилю демонстрирует устойчивый рост: к 2030 году его объём, по данным Grand View Research, составит более 8 миллиардов долларов США. «Цифровая печать по текстилю, по прогнозам к 2030 году будет составлять 25% всей печатной текстильной продукции, а к 2040 году будет полностью цифровой» [5-10]. Компания Optimal Digital заявляет, что: «Это экологичное решение для печати на текстиле снижает общую стоимость печати на 50%, а затраты на электроэнергию и химикаты на 80%, а также позволяет экономить природные ресурсы и предотвращать образование сточных вод». Широкоформатная печать – один из самых динамичных сегментов. По некоторым оценкам, его рост составляет от 10 до 20% в год. Согласно аналитику Frostand Sullivan Эндрю Бартону, новое применение чернил для струйной печати находят в первую очередь в широкоформатной полиграфии. В большинстве развитых стран на её долю приходится от 14 до 17% широкоформатного рынка по объёму печати и значительно больше в ценовом

выражении. «Основные конкуренты - трафаретная печать значительно отстает» [8-10].

«По информации «Легпромиздат» (по данным компании Epson), промышленное использование цифрового оборудования позволяет уменьшить выбросы CO<sub>2</sub> с 139 до 86 кг и объём использования воды на 27%» [16]. Новейшее оборудование устанавливается и на отделочных предприятиях Таджикистана и Российской Федерации [17-20]. «Совершенствование процесса цифровой печати находит отражение в научных трудах» [21-25].

Внедрение цифровых плоттеров в производство требует адаптации возможностей оборудования к реальному воплощению цвета на текстильных материалах. Особенно это важно при печатании на рулонных плоттерах. Корректировка настроек изображения за счёт создания пробы увеличивает срок производства заказа. «Поэтому требуется разработка решений, позволяющих сократить или исключить этот этап из технологического цикла производства цифровой продукции» [26- 31].

Использование плоттера позволит значительно модернизировать производство за счёт внедрения новейших автоматизированных систем и тем самым облегчить работу персонала. «Кроме того, обслуживание таких печатающих устройств обычно заключается в замене картриджа, и не представляет больших сложностей, по сравнению с машинами с сетчатыми шаблонами» [32-36]. Существенным технологическим преимуществом цифровой струйной печати в текстильном производстве является отсутствие механического взаимодействия между печатающим элементом и текстильным материалом (ТМ), что потенциально обеспечивает универсальность метода к материалам различного волокнистого состава. «В этом случае достигаемые параметры качества печати вполне сравнимы с технологиями ротационной печати, реализуемой на поточных отделочных линиях» [37, 38].

«Потенциальные преимущества струйной печати это печать по запросу, переменной и персонифицированных тканей, быстрая подготовка, исключение больших запасов готовой продукции, складов по её хранению, экономичность коротких тиражей и отсутствие участков по хранению шаблонов и процессов их утилизации и обслуживания делают струйную печать неоценимой для малых и мобильных производств» [39, 40].

Особый интерес в связи с возможностями современной цифровой печати представляет изучение исторических орнаментов национальных аутентичных тканей, созданных в технике иката. Сущность данной технологии заключается в том, что до непосредственного формирования полотна отдельные участки нитей подвергаются локальной обвязке непроницаемыми для красителя материалами с целью создания заданной цветовой композиции. В процессе копирования незащищённые участки впитывают красящий состав, тогда как под обвязочные элементы происходит частичная диффузия пигмента, формирующая характерные размытые, градиентные переходы по вертикальной оси орнамента. «Эта специфическая визуальная особенность – нечёткие, «дымчатые» границы рисунка – послужила основанием для параллельного наименования техники как абри бандан: термина, образованного от таджикских лексем «абр» и «бандан», метафорически отражающего визуальное сходство узоров с облаковидными формами» [41].

Тема Востока – одна из самых ярких в дизайне, представляющая огромное поле для многочисленных трактовок. Самые востребованные мотивы, используемые сегодня в рисунках для декоративных интерьерных изделий и постельного белья высокого ценового сегмента, это орнаменты «икат», «сюзане», а также «пейсли». Имитация в печатных рисунках восточной шёлковой, полушёлковой и хлопчатобумажной ткани «икат» сопровождается изменением масштаба мотива, колористики и интерпретациями характерных размытых краев узора. «Мотивы восточной вышивки «сюзане» (вышитое панно, традиционный настенный ковер,

технология – вышивка шёлком по хлопчатобумажной ткани, шёлку или бархату) упрощают с увеличением в масштабе и используют в основном для дизайна на постельном белье. Современные ткани на основе натуральных и химических волокон, с орнаментацией в восточном стиле являются источником вдохновения и основой дизайнерских решений для многих мировых брендов швейной продукции» [42-44].

Текстильный орнамент таджиков прошёл длительную эволюцию от магических древних представлений, религиозной семантики элементов, сюжетов, мотивов к универсальным символам, которые в настоящее время актуальны и активно используются в современном дизайне тканей и изделий на их основе. В работе проанализированы исторические абровые орнаменты –икаты таджиков и узбеков, их образная структура и выразительные средства, которые несут в себе отпечаток этнического культурного разнообразия. Переосмысление исторического опыта в производстве уникальных абровых тканей, новый взгляд на традиционные текстильные орнаменты в стиле «иката», позволило создать их модификации применительно к современным хлопчатобумажным тканям и технологиям их производства методом цифровой печати на текстильном принтере .

Эволюция текстильных традиций в Средней (Центральной) Азии происходило во взаимосвязи с текстильным искусством сопредельных регионов, чему способствовало активное перемещение абровых тканей и изделий на их основе по дороге Великого Шёлкового пути. Исследование форм орнаментики тканей, семантики и изобразительности, специфики художественного образа среднеазиатского костюма как художественного комплекса, указывает на то, что способы художественного оформления тканей абра легли в основу общенационального восточного стиля. «В то же время самобытное текстильное производство и особые технологии орнаментации тканей, отличные от европейских или, например, китайских, в пределах Центральной Азии развивались благодаря мощным традиционным

культурным и религиозным устоям, мастерству ремесленников, передаваемых из поколения в поколение» [45, 46].

Мировую известность приобрели икаты как феномен традиционного текстиля Центральной Азии. Их орнаментальные решения стали основой для коллекционирования и используются в современной моде, включая коллекции известных брендов. Не менее значимо проявился и худжандский стиль орнаментации шёлковых и полушёлковых тканей, который сформировался не только как региональная особенность, но и как важная составляющая общенациональной традиции оформления текстиля. «Это связано с тем, что культура таджикского народа, в отдельные периоды, распространялась на территории значительно превосходящей границы нынешнего Таджикистана. Исторически шёлкоткачество абровых тканей в Худжанде в XX веке внесло существенный вклад в социально – экономическое развитие городов и селений, расположенных вокруг него в Ферганской долине, а также оказало воздействие на формирование традиций и культуры всех народов Центральной Азии» [47–55].

Экономическое и торговое положение Ферганской долины, возросшее в последние десятилетия XIX века, обусловили распространение ферганского стиля как в узорах, так и в расцветке. В них соединились орнаментальная техника, родоначальниками которой в регионе считались таджики, и атласное тканье, освоенное в Средней Азии узбекскими (сарты Ферганы) мастерами (Рисунок 1.1.).

В XIX веке ширина тканей была ещё узкой 35 – 40 см, лишь в начале XX века появились широконавойные станки, на которых вырабатывали новые ткани: канаус, атлас, парча, полушёлковая ткань адрас (рисунок 1.1.). «Наиболее ценимые в Средней Азии из – за сложности крашения были семицветные икаты хафтрангисаржевого переплетения 1:3 (тадж. – семицветный, Рисунок 1.1. г). В реальности число оттенков достигало 8 – 10. Из тканей абра шили дорогие платья, парадные халаты, покрывала, скатерти и одеяла. Экспортировали как ткани, так и готовые изделия» [55].

В период позднего этапа модернизации текстильного производства (конец XIX - начало XX вв.) в центрах ремесленной культуры Ферганской долины – Худжанде и Коканде – сформировалась практика изготовления хлопчатобумажных тканей с использованием промышленно выработанных нитей, орнаментированных по технологии абрбанди (резервирование основы перед крашением). «Технологический трансферт проявился во внедрении ткацких станков с механическим приводом, поставлявшихся из Российской империи, что обусловило расширение полотна до 120 – 150 см - параметра, ранее недостижимого при ручном ткачестве. В худжандском варианте данной ткани, локально именуемой ялангдаврон, доминирующей колористической характеристикой выступал синий цвет уточной нити (Рисунок 1.1. а)» [47, 55].

«В этот период эти ткани – калами вырабатывали почти во всех городских и сельских текстильных центрах, включая горные районы Таджикистана (Каратаг, Куляб) и Припамирье» [55].

«Главные технологические особенности тканей калами, общие для всех районов её производства, заключались в небольшой плотности ткани и наличии белой пряжи в основе. Много общего существовало в характере построения полосатого узора, цветовой гамме, традиционными для которой были белый, синий и красный цвета» [55].

«Начиная со второй половины XIX столетия ткани, выполненные в технике иката, приобретают статус объектов музейного и частного коллекционирования, что отражает растущий интерес к этнографическому наследию Средней Азии» [47, 55]. Система номинации орнаментальных мотивов демонстрирует многоуровневую семантическую структуру: названия могли фиксировать авторство изделия – например, сохти Мансури («творение Мансура»); заимствовать образы из зооморфной символики – пари товуси («павлинье крыло»), каклик кузи («глаз горной куропатки»). Отдельную группу составляли термины, кодирующие колористическую доминанту полотна: кабуд обозначало бело – синюю или сине – зелёную

гамму, сурх – преобладание красных оттенков, а шарак («заря») – сочетание красного и малинового тонов. Подобная номинативная практика свидетельствует о высокой степени кодификации декоративно-прикладного знания в традиционной текстильной культуре региона.



а

б

в

г

**Рисунок 1.1** – Абрывые ткани (а. Полушёлковый адрас, г. Худжанд; б. Полушёлковая ткань, в. Самарканд; г. Бухарская шёлковая ткань шойи;)

В конце XIX века в городах и ремесленных центрах территории современного Таджикистана под влиянием развития торговли и активизации межрегиональных контактов усилилось производство набивных хлопчатобумажных тканей для бытового назначения. В этот период в быту получили распространение изделия ручной набойки (чит), использовавшиеся в оформлении домашнего пространства и предметов повседневной культуры. Одновременно возрастал спрос на высококачественные и престижные шёлковые и полушёлковые ткани для костюма обеспеченных слоёв общества; одежда из таких материалов выступала показателем достатка и социального статуса, что поддерживалось усилением роли религиозного и традиционного факторов в культурной иерархии общества.

«К концу XIX - началу XX века в художественном оформлении тканей абр наблюдаются существенные изменения, связанные с внедрением новых материалов и синтетических красителей» [47, 55]. Это выразилось в усложнении орнаментальной структуры, расширении колористической палитры и появлении новых декоративных мотивов. При этом в рамках таджикской

текстильной традиции сформировались устойчивые признаки орнаментации, проявившиеся как на региональном, так и на общекультурном уровне. «Особое место занимает худжандская школа оформления шёлковых и полушёлковых тканей, отличающаяся композиционной выразительностью и сформировавшаяся как значимый художественный стиль национального текстиля. Худжандские ткани имели широкое распространение и высокую востребованность, что подтверждается данными об их активном вывозе за пределы региона в конце XIX - начале XX веков» [47, 55].

Орнаментальные системы таджикских тканей абр включают знаковые зооморфные и антропоморфные формы, отражающие древние представления о плодородии, благополучии и защитной символике. В композициях встречаются синкретичные образы, объединяющие несколько архаичных символов, включая мотивы, интерпретируемые исследователями как образы покровительства и продолжения рода. «Подобные орнаменты, обладая устойчивой семантикой, со временем приобрели статус художественно значимых форм и стали восприниматься как произведения декоративно-прикладного искусства» [45, 46].

В XX веке, в условиях институционализации художественных промыслов и последующего перехода части производств на механизированные методы, традиционные приёмы орнаментации претерпели трансформации: с одной стороны, происходила унификация отдельных видов тканей, с другой – сохранялись базовые композиционные и колористические принципы абровой орнаментации. «В советский период наблюдалось внедрение новых символических элементов, однако начиная с середины XX века ткани хан-атлас и изделия с классической абровой орнаментацией вновь заняли устойчивое место в женском национальном костюме и культуре повседневности в Таджикистане» [47, 55].

С 1991 года, в условиях становления независимости и переоценки культурных приоритетов, усилился интерес к возрождению традиционных ремёсел и восстановлению технологий художественного текстиля.

Орнаментальные практики, ранее частично утраченные или вытесненные унифицированными решениями, получили новый импульс развития. В современных условиях значительная часть операций производства хан – атласа выполняется с применением машинных методов, однако сохранение традиционного художественного кода остаётся принципиально важным: орнамент “абр” демонстрирует высокую жизнеспособность, декоративность и адаптивность, сохраняя культурную ценность и одновременно отвечая запросам современного рынка.

Анализ современных дизайнерских практик в Таджикистане позволяет выделить два доминирующих направления интерпретации икатного наследия. Первое связано с адаптацией традиционных мотивов посредством изменения цветовой гаммы, варьирования масштаба раппорта и трансформации композиционной структуры при сохранении узнаваемого художественного кода. Второе направление основывается на концептуальном переосмыслении эстетики “абр” как визуального эффекта: градиентная, переливчатая фактура орнамента переносится в новые образные решения и применяется в костюмном, интерьерном и декоративно-прикладном текстиле, формируя синтез традиции и современного художественного языка.

На основе анализа этнографических и визуальных материалов, собранных по текстильному наследию Таджикистана, разработана серия оригинальных орнаментальных композиций, предназначенных для цифровой струйной печати на хлопчатобумажных тканях бельевого назначения шириной 220 см. Проектирование орнаментов выполнено в векторном графическом редакторе Inkscape, обеспечивающем колористическую настройку, селекцию мотивов, формирование раппорта и визуализацию печатного результата.



а

б

в

г

д

**Рисунок 1. 2** – Образцы шёлковых тканей с узором абр из Бухары, изготовленные таджикскими мастерами (а,б – из коллекции А.Клячина, в-д – из книги «Tajik Arts and Crafts», конец XIX – начало XX в.)

«В результате синтеза исторических прототипов, модифицированных мотивов таджикского иката и элементов народной вышивки, созданы авторские орнаментальные системы, адаптированные к технологическим параметрам цифровой печати и ориентированные на актуальные эстетические запросы современного потребителя» [58].

### **1.2. Чернила на основе активных красителей в цифровой печати**

В настоящее время для печати на плоттерах разработаны несколько видов специальных текстильных чернил, классифицировать которые можно по типу химического взаимодействия с активными группами волокнообразующего полимера текстильных материалов: активные – для целлюлозных тканей, натурального шёлка и вискозных тканей, кислотные – для прямой печати по натуральному шёлку, капрону и шерсти, водные пигментные - для хлопчатобумажных, льняных и вискозных тканей, сублимационные (дисперсные) - для искусственных (полиэфирных).

«Активные чернила дают отличное качество, но требуют дополнительной пропитки ткани до печати специальным составом, а после печати в плоттере – закрепления паром и промывки» [59, 60].

До недавнего времени проблема фиксации была обусловлена отсутствием промышленного оборудования для малосерийных производств. Но в 2001 году. Фирма Rimslow (Австралия) выпустила «зрельник» для

закрепления паром, а в 2002-м – оборудование для нанесения пропитки на ткани. Оно недешевое, но всё – таки его цена во много раз меньше, чем промышленное оборудование для текстильных отделочных фабрик.

Цифровая струйная печать представляет собой бесконтактную технологию нанесения изображений на текстильные материалы с использованием водных чернил на основе активных красителей. Технологический цикл включает предварительную обработку текстиля специальной предпечатной композицией, после чего красящий агент, дозируемый из отдельного картриджа, непосредственно наносится на подготовленную поверхность волокнистого материала.

Технология ink-jet печати или цифровая струйная печать представляется сегодня наиболее перспективным направлением в области текстильной печати. Прямая печать материала осуществляется при температуре 24–26 °С, с влажностью воздуха 30–45 %. Для обеспечения качества печати чернила в своем составе содержат: активный краситель (около 3-8 %), растворенный в воде (70–80 %), и растворитель (20–25 %). «Органический растворитель добавляют, чтобы уменьшить испарение чернил на соплах и тем самым предохранить сопло от засорения. Типичные растворители – диэтилен гликоль и пиралидон» [22]. Чернила также содержат поверхностноактивные вещества и вещества для предотвращения пенообразования, например, гексан1,6диол. «Эти вещества обеспечивают вязкость и снижают растекание чернил при печати. Средний размер частиц красителей, показатель дисперсности в чернилах, должен быть меньше по сравнению с отверстиями каналов сопла струйной принтера» [61, 62]. Устойчивость чернил обеспечивается набором химических вспомогательных веществ, входящих в их состав. Например, веществ, выполняющих свойства диспергатора, которые сильно влияют на осаждение красителя.

Стабильность коллоидной системы обеспечивается комплексом вспомогательных реагентов, включая диспергаторы, контролирующие процессы агрегации и осаждения пигментных частиц. Скорость диффузии

активного красителя в структуру волокна, определяемая химической природой хромофорной системы, является ключевым фактором эффективности фиксации: повышенный коэффициент диффузии способствует ускоренному проникновению красителя в аморфные области целлюлозы, снижая вероятность его гидролиза в печатной форме и повышая выход закрепленного красителя.

Важным параметром чернил являются диффузионные свойства активных красителей, которые в основном зависят от хромогена. При прочих равных условиях фиксация активных красителей увеличивается с ростом коэффициента диффузии в волокно. Быстрая диффузия уменьшает опасность гидролиза, ускоряя выщелачивание красителя из ванны.

**Таблица 1.1** - Составы чернил на основе активных красителей для печати тканей различного сырьевого состава на текстильных плоттерах

	Хлопок	Лён	Шёлк, вискоза	Шерсть
Сульфат аммония	20–50	45–50	10–20	30–40
Нитрит натрия	5–30	20–30	5–15	5–15
Карбонат натрия	0–2	2	1–2	1–2
Тиодигликоль	25–100	40–50	25–30	25–30
Мочевина	10–150	130–140	40–60	40–60
Клеящее связующее вещество	10–100	–	–	–
Карбоксиметилцеллюлоза (в виде натриевой соли)	–	20–30	90–100	90–100
Едкий натр (32,5%)	10–50	40–50	10–50	10–15
Двууглекислый натрий	20–50	70–100	70–100	140–170
Глицерин	0–100	60–70	–	50–100
Солюционная соль	20–100	90–100	30–40	30–40
Поваренная или глауберова соль	20–180	70–170	100–150	100–160

Устойчивость чернил обеспечивается набором химических вспомогательных веществ, входящих в их состав. Например, веществ,

выполняющих свойства диспергатора, которые сильно влияют на осаждение красителя. Поэтому чернила содержат поверхностноактивные вещества и вещества для предотвращения пенообразования, например, гексан1,6диол. Эти вещества обеспечивают вязкость и снижают растекание чернил при печати. Средний размер частиц красителей, показатель дисперсности в чернилах, должен быть меньше по сравнению с отверстиями каналов сопла струйной принтера.

### **1.3. Характеристики цвета в текстильной печати**

Смешение цветов является важной частью цифровой струйной печати. Цифровая струйная печать осуществляется через компьютер для управления выходным цветом, но цвет, отраженный на дисплее компьютера, и цветовой режим печати не совпадают (цвет дисплея, режим RGB, а цвет печати, режим CMYK), что требует процесса смешивания цветов. В процессе смешивания цветов необходимо устанавливать различные параметры процесса в зависимости от характеристик красителя, точности печати, категории ткани и т.д. Плохо установленные параметры будут иметь большое влияние на цвета отпечатка. «Кроме того, поскольку в цифровой струйной печати используется принцип четырехцветного разделения, любое небольшое изменение любого параметра приведёт к очень большому изменению цвета. Смешивание цветов невозможно выполнить непосредственно на компьютере. Нужно опираться на заданные параметры, чтобы постепенно приспособливаться к достижению таким образом, смешивания цветов» [67–69].

В настоящее время большинство предприятий применяют печать активными красителями, используя альгинат натрия в качестве основного вспомогательного средства для калибровки. Поскольку альгинат натрия особенно легко впитывает влагу из воздуха, то при печати от него на ткани будут пятна. Если влажность воздуха очень велика, рисунок после печати будет растекаться. В реальном производстве при некоторых видах цифровой струйной печати, после того, как пройдёт печать ткань часто недостаточно

яркая. «Особенно, если цветов смешано много, то серость выше. Поверхность ткани выглядит покрытой слоем тумана, главным образом из-за чернил, которые растекаются» [70].

В плоттерах могут использоваться несколько цветовых схем: четыре цвета 2xCMYK; шесть цветов CMYK + два дополнительных цвета (возможности могут быть ограничены RIPом клиента); восьмиканальная цветовая модель на основе расширенной субтрактивной системы: базовый набор CMYK с дополнением четырёх экстраканалов (например, оранжевый, синий, флуоресцентный жёлтый и флуоресцентный розовый). Реализация ограничена поддержкой многоканальной обработки в RIP-системе заказчика.

**Таблица 1.2** – Наиболее востребованные цветовые модели текстильных чернил

Ткани	Цветовая схема	Количество во цветов	Цвета
Натуральные	CMYK стандартная	4	Чёрный, пурпурный, голубой, жёлтый
	CMYK расширенная	8	Чёрный, пурпурный, голубой, жёлтый, оранжевый, серый, красный, зелёный
Синтетические	CMYK стандартная	4	Чёрный, пурпурный, голубой, жёлтый

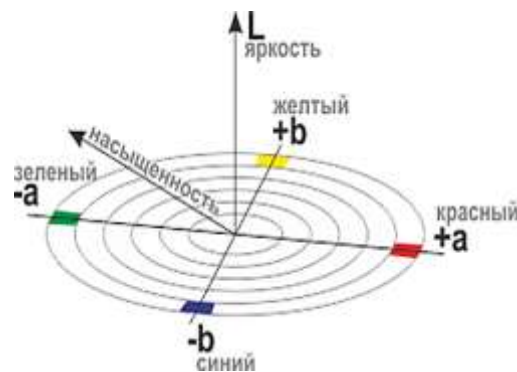
Наносимые капли чернил красителя должны быстро смачивать текстильный материал без эффекта растекания. Такие свойства чернил обеспечиваются определенной величиной поверхностного натяжения и вязкости.

Цвет – характеристика светового стимула (источника света или предмета), создающего определенное зрительное ощущение. Международная система измерения цвета призвана характеризовать хроматические цвета

тримя основными колориметрическими величинами: цветовой тон ( $\lambda$ ), нм; чистота (P), %; яркость (V) или светлота (L), %.

В настоящее время используют систему CIELAB, где LAB - сокращённое название цветового пространства CIE 1976 Lab\* или CIELAB. В этой модели основные параметры: уровень света – lightness, а также координаты цвета от зелёного до красного – a, и от голубого до жёлтого – b.

«Если макет в RGB человек может посмотреть на мониторе, а в CMYK, например, на бумаге, то LAB нельзя увидеть и потрогать: это цветовое пространство, которое не существует физически. LAB используется только для преобразования цвета, то есть для перевода макета из RGB в CMYK или наоборот. LAB также подходит для деликатной цветовой коррекции, например, если нужно аккуратно убрать красноту. После коррекции файл переводится в RGB или CMYK. Модель LAB максимально воспроизводит восприятие цвета человеческим глазом» [71, 72].



**Рисунок 1.3** – Модель LAB

При оптимизации технологий печати и выборе материала для печати необходимо рассматривать не только внешние качества материала, но и его цветовой охват. «Ведь от этого напрямую зависит точность цветопередачи. Зелёно–красный и сине–жёлтый оппонентные каналы связаны с оппонентным цветовым процессом системы человеческого зрения» [71, 72]. «Это делает CIELAB оппонентным цветовым пространством Геринга. Характер преобразований также характеризует его как цветовое пространство хроматических значений» [71, 72].

#### **1.4. Промышленное оборудование для прямой цифровой печати активными чернилами**

Развитие промышленной цифровой струйной печати по текстилю началось во второй половине 1990–х годов с появления систем печати «по требованию» и первых машин, ориентированных на нанесение красителей на ткань. На раннем этапе преобладали термоструйные (bubble-jet) печатающие головки с разрешением порядка 300 dpi, а затем – более совершенные решения с повышением разрешающей способности до 600 dpi и расширением возможностей по цветности. В конце 1990–х в начале 2000–х годов получила распространение промышленная техника с пьезоэлектрическими печатающими головками, обеспечившая более стабильную дозировку капли и расширение технологического диапазона по типам чернил (включая активные/реактивные). «При этом высокая стоимость и технологическая сложность обслуживания пьезоголовок длительное время оставались ограничивающими факторами для широкого внедрения» [71–73].

По данным отраслевых обзоров, цифровая текстильная печать в настоящее время занимает относительно небольшую, но быстрорастущую долю в мировом объёме производства печатных тканей и трикотажа; прогнозы указывают на дальнейшее увеличение её удельного веса в ближайшие годы. Важнейшими параметрами промышленного струйного оборудования являются производительность (ориентировочно от 20 до 150 м<sup>2</sup>/ч и выше в зависимости от класса машины), ширина печати (до 3,2–3,5 м), разрешение (как правило, до 720 dpi и выше для режимов высокого качества) и конфигурация цветовой схемы (обычно 4–8 базовых цветов с возможностью расширения палитры). «Оборудование данного класса применяется как для мелкосерийного выпуска (образцы, капсульные коллекции), так и для промышленного производства, однако требования к стабильности подготовки ткани, качеству фиксации и последующей

промывки остаются ключевыми для получения воспроизводимого результата при печати активными чернилами» [71–73].

В ряде стран (включая государства Европы и Азии) промышленная цифровая печать уже сформировала развитую инфраструктуру: наряду с печатными комплексами используются специализированные линии для предпечатной пропитки, сушки, паровой фиксации и промывки. «Для иллюстрации динамики распространения промышленного оборудования и структуры рынка в отдельных странах могут использоваться данные национальных обзоров (в т.ч. по количеству промышленных принтеров, распределению по типам чернил и доле печати по натуральным и синтетическим материалам)» [71-73]. Однако важно подчеркнуть, что характер внедрения цифровой печати существенно различается по регионам и зависит от сырьевой базы, структуры внутреннего спроса, доступности расходных материалов и сервисного сопровождения.

Анализ состояния рынка цифровой печати в странах Центральной Азии показывает неравномерность развития производственной базы: в ряде центров региона сформированы предприятия, оснащённые широкоформатными принтерами и технологическими линиями постпечатной обработки, тогда как в Таджикистане промышленная инфраструктура цифровой печати на натуральных тканях находится на стадии становления. Вместе с тем, наличие собственной хлопковой сырьевой базы и выраженной традиции орнаментального искусства создают объективные предпосылки для формирования и расширения отечественных производств цифровой печати на хлопчатобумажных тканях. «В этих условиях особую значимость приобретают исследования, направленные на адаптацию предпечатной подготовки хлопчатобумажных материалов к особенностям активных чернил и на обеспечение воспроизводимости цветопередачи при печати» [74–75].

Плоттеры и промышленные принтеры для прямой печати по текстилю принято классифицировать по конструктивному исполнению (планшетные, барабанные и рулонные системы). Определяющими параметрами являются

скорость печати (скорость перемещения материала), ширина печати, разрешение, конфигурация печатающих головок и тип используемых чернил. «Прямая цифровая печать позволяет получать тонкие линии и чёткие границы элементов изображения без использования промежуточного носителя, что сокращает производственный цикл; вместе с тем технология предъявляет повышенные требования к стабильности натяжения полотна, равномерности предпечатной обработки и выбору режимов печати (количество проходов, скорость, разрешение), особенно при работе с натуральными тканями и активными чернилами» [76–78].

Постпечатная обработка при использовании активных красителей включает стадию фиксации (насыщенным или перегретым паром, реже – горячим воздухом или ИК–воздействием, в зависимости от состава чернил и технологической схемы), последующую промывку для удаления гидролизованных форм красителя и вспомогательных веществ, а также сушку. Режимы фиксации и промывки определяются классом красителя, видом ткани и требованиями к стойкости окраски и воспроизводимости цвета.

**Таблица 1.3** - Плюсы и минусы технологии прямой печати по текстилю

Плюсы	Минусы
Нет потребности в использовании промежуточного носителя – сублимационной бумаги	Высокая стоимость европейских тканей с пропиткой
За счёт отсутствия трансферной бумаги сокращается цикл изготовления продукции после печати (экономия времени может составлять от 3 до 24 часов)	Для качественной печати требуются режимы с большим количеством проходов, чем при термопереносе
Сквозная прокраска (пробив на обратную сторону ткани до 90%) при прямой печати лучше, чем при сублимационном переносе, что очень важно для печати двухсторонних тканей.	Более длительный процесс заправки материала, неудобно постоянно менять разные типы тканей

Общее энергопотребление устройства ИК-фиксации в 3,5 раза ниже по сравнению с каландром для сублимационного переноса аналогичной производительности. Это достигается за счёт снижения энергоёмкости процесса и отсутствия необходимости проведения усадки ткани.	Неудобно работать с кусками ткани, оптимальная работа печати по рулону
Устройство ИК-фиксации дешевле любых других устройств закрепления	Расход чернил выше на 10-15%, чем при термопереносе
Существенно снижается процент брака. Исчезают специфические для сублимационного переноса проблемы: смазывание изображения при большой усадке ткани во время переноса, пятна и разводы от неравномерного прижима бумаги или неполной просушки изображения, следы от заломов ткани и бумаги и др.	Ограниченный выбор тканей и тем самым ограничены возможности предлагаемых услуг. Под многие задачи нет тканей с пропиткой.
Крайне низки расходы по эксплуатации и обслуживанию — достаточно одного квалифицированного рабочего.	Мало поставщиков тканей с пропиткой, необходимо поддерживать запасы ткани у себя на складе, во избежание перебоев в работе

«В качестве примера промышленного оборудования могут рассматриваться современные модульные решения для печати, фиксации и промывки, а также производственные линии, объединяющие печатный модуль с установками паровой фиксации, сушки и мойки» [76]. Их применение позволяет обеспечить управляемость процесса и воспроизводимость качества отпечатка, однако эффективность работы таких комплексов прямо зависит от корректно подобранной предпечатной подготовки ткани и согласованности параметров цифрового оригинала с технологическими настройками печати.

Наиболее современным является плоттер для прямой печати MS JPK, именно его использовали в процессе эксперимента. Он является самым скоростным, его производительность достигает до 1000 м<sup>2</sup>/ч.

Производительность системы способна обеспечить потребности производства различного объёма в кратчайшие сроки. Максимальная скорость достигается при разрешении  $540 \times 360$ . Для стандартного производства рекомендуется режим  $540 \times 720$ . Принтер со струйными печатающими головками с технологией печати по требованию для использования чернил на водной основе. Каждая печатающая головка имеет 1024 дюзы и обеспечивает разрешение 360. Печатающие головки оснащены независимой системой подачи чернил, которая обеспечивает одновременное использование всех дюз.



Рисунок 1.4 – MS JPK evo

Таблица 1.4 - Техническая характеристика плоттера MS JPK

Модель	MS JPK evo
Тип печати	Цветная
Ширина печати, мм	3200
Количество картриджей, шт	6
Печать на ткани	Хлопок, полиэстер, шёлк, шерсть, нейлон
Тип чернил	Пигментные, кислотные, дисперсные, активные
Цветовая схема	CMYK
Скорость печати, м <sup>2</sup> /час	140
Интерфейс	USB 2.0, Ethernet

Принтер «MS» - машина обладает модульной конструкцией и позволяет выбрать любую ширину печати от 180 до 320 см с шагом в 20 см. «Система протяжки включает в себя кирзу, покрытую перманентным клеем, благодаря чему возможно печатать даже на сильно тянущейся ткани, в том числе трикотаже и лайкре» [76]. Кроме того, принтер имеет открытую красочную систему, поэтому клиент может сам выбрать производителя чернил. «А возможно использования разных видов чернил позволяет печатать на тканях любого состава: хлопке, полиэстере, шёлке, шерсти, нейлоне и смесовых тканях» [76].

Чернила девяти цветов обеспечивают точность и яркость воспроизведения цвета струйной печати. Набор цветов включает голубой, пурпурный, жёлтый, чёрный, а также чернила светлых оттенков и дополнительных цветов. «Для каждого цвета используется по две ёмкости объёмом по 20 литров, устанавливаемые друг над другом. Удобная панель управления предоставляет доступ к функциям через сенсорный экран. Принтер может работать с различными типами чернил до 8 цветов, включая 4 основных basic (СМУК) и 2 специальных цвета» [76].

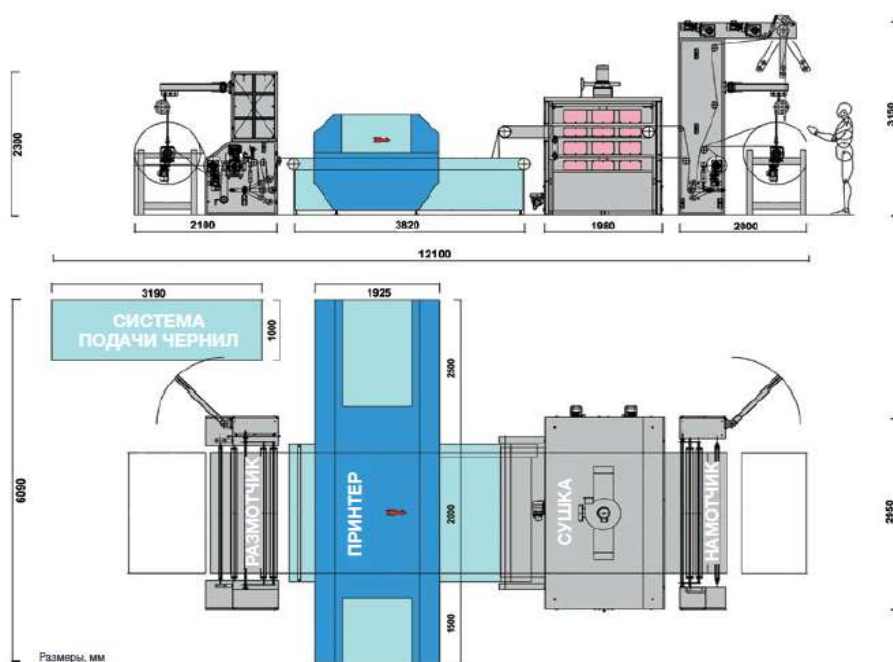
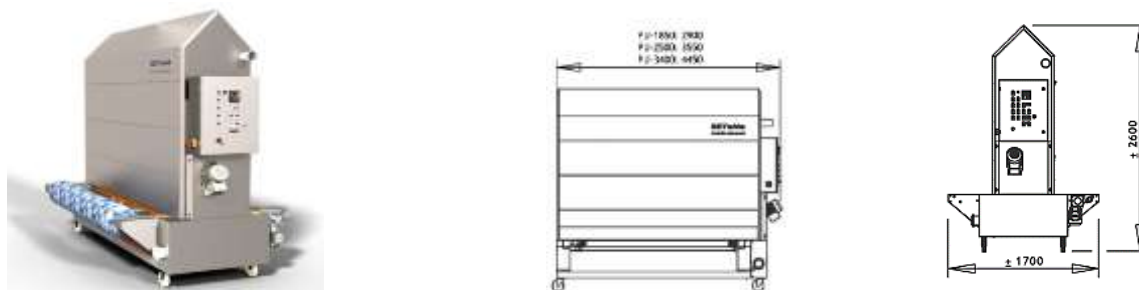


Рисунок 1.5 – Схема плоттера для прямой печати

«Процесс закрепления красящих веществ на текстильных материалах после нанесения рисунка проводится при термообработке (в условиях насыщенного или перегретого пара, горячего воздуха)» [76–78]. Обработка текстиля в среде насыщенного пара производится при атмосферном давлении и температурном диапазоне 100–106 °С, в то время как использование перегретого пара предполагает повышение температуры до 150 – 190 °С. Длительность обработки варьируется в зависимости от класса применяемых красителей и специфики технологического процесса, составляя от 8 до 40 минут для насыщенного пара и от 3 до 10 минут для перегретого пара. «В отдельных случаях, при использовании определенных классов красителей и схем печати, допускается применение горячего воздуха (50–210 °С) в течение 3-5 минут, либо кратковременное воздействие инфракрасного излучения (8–12 секунд)» [76–78].

«Примером современного оборудования является модульный зрельник SETeMa Portafix Universal, предназначенный для сушки и паровой фиксации различных красителей. Обеспечивает обработку насыщенным паром (100–105°С) и перегретым паром (160 °С), с возможностью выбора времени фиксации. «Оптимизированная циркуляция пара и цифровое управление температурой гарантируют стабильность условий обработки» [76]. Скорость печати, 12–180 погон.м /ч., имеет систему контактной термофиксации барабанного типа» [76].



**Рисунок 1.6** – Зрельник SETeMa Portafix Universal с сушкой

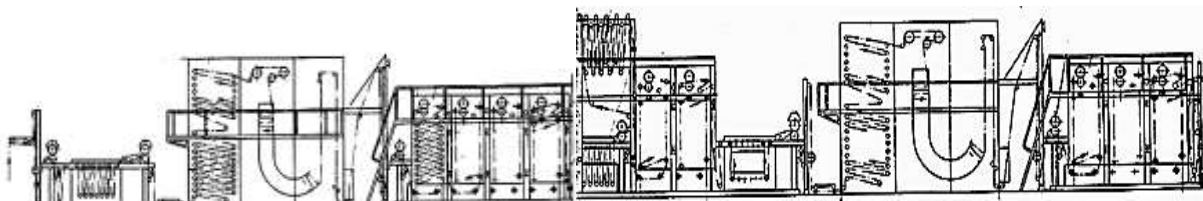
«Фиксация красящих веществ осуществляется посредством нагрева ткани при контакте с алюминиевым цилиндром, обеспечивающим



Система КМ–20 обеспечивает комфортные условия работы оператора благодаря наличию автоматизированной системы выгрузки рулона, электронных счётчиков для мониторинга производственных показателей, системы автоматической маркировки и устройства центрирования ткани.

### **1.5. Особенности предпечатной подготовки текстильного материала перед цифровой печатью чернилами на основе активных красителей**

Качество подготовки текстильного материала является критическим фактором для предотвращения дефектов в процессе печати. Помимо стандартных операций, таких как расшлихтовка, щелочная отварка, щелочно-пероксидное белиение (одностадийное или двухстадийное с предварительной щелочной отваркой), предъявляются специфические требования.



**Рисунок 1.8** – Классическая подготовка бязей, поплинов, сатинов Линия ЛОБ (двухстадийное белиение: щелочная отварка, щелочно-перекисное белиение)

Важнейшими характеристиками подготовленных хлопчатобумажных тканей являются белизна, гигроскопичность (впитываемость, капиллярность), отсутствие деформаций (перекосов, заминов, складок) и инкрустов (остатков семенной коробочки) и технологических загрязнений. Оптимизированная предварительная подготовка способствует повышению эффективности последующих технологических операций и минимизации возникновения дефектов печати. Однако классические способы подготовки могут приводит к снижению прочностных свойств материал (разрывной нагрузки), повреждению целлюлозы и как следствие образованию «пуха» на поверхности тканей. Это требует введение в технологический процесс дополнительных операций, таких как например стрижка. На настоящий момент нет исследований, посвященных оценке подготовки на результат

цифровой печати. Приобретаемая хлопчатобумажной тканью высокая капиллярность негативно сказывается на растекании микро капли чернил. Учитывая более низкую вязкость чернил в отличие от классического печатного состава вводится операция нанесения загущающего предпечатного состава.

Таким образом, текстильные материалы, предназначенные для струйной печати активными красителями, требуют специальной предварительной обработки. Это связано с тем, что в цифровой печати основные химические компоненты, необходимые для сорбции красителя и образованию ковалентной связи его с целлюлозой, переносятся из состава печатной краски в предварительно наносимую композицию. «Нанесение предварительной композиции осуществляется методом плюсования на линиях заключительной отделки типа Элитекс, Тексима и других, оснащенных плюсовкой с отжимными валами (отжимом до 70 %) и сушкой при температуре не более  $T=100-110$  °С в течение 3-х минут» [79].

Состав включает следующие компоненты: щелочные реагенты, мочевины, загуститель, лудигол. Эти соединения не включаются непосредственно в состав чернил, чтобы не оказывать негативного влияния на их физико-химические характеристики (в частности, на вязкость и стабильность). Мочевину растворяют в воде при температуре около 70 °С. Перед применением композицию охлаждают и добавляют гидрокарбонат или карбонат натрия, предварительно растворенные в воде. Готовая предпечатная композиция наносится на хлопчатобумажную ткань методом плюсования. Слабый окислитель, такой как лудигол (нитробензосульфокислота), предназначен для защиты активных красителей (особенно азокрасителей) от восстановительной деструкции. «Исследованиями, проведенными в российском заочном институте текстильной и легкой промышленности (г.Москва) установлено, что при введении в состав предпечатной композиции компонентов в концентрациях: щелочной агент (гидрокарбонат натрия) – 25 – 30 г/л, мочевина – 200 г/л, лудигол – 10 г/л достигается

повышение интенсивностей окрасок на 15–20 %.» [80]. «Известно также, что некоторые активные красители чувствительны к восстанавливающему действию примесей хлопка и остатков шлихты. Целлюлоза, содержащая концевые альдегидные группы, может проявлять восстановительные свойства в щелочной среде при высокой температуре» [80].

Загуститель в предпечатном составе необходим для предотвращения растекания капли чернил. В процессе печати активными чернилами по целлюлозным тканям (хлопок, лен) рекомендуется использование предпечатных составов на основе природных или синтетических (акриловых) загустителей, которые не вступают в нежелательные реакции с активными красителями и легко удаляются при промывке. Для этой цели могут быть использованы загустители, такие как альгинат HV, манутекс R/S, сольвитоза SA, принтекс в различных концентрациях (0,1, 0,3, 0,5, 1,0, 2,0 %), а также коммерческие составы (Ламберти, Essadget) в концентрациях, рекомендованных производителями для конкретных технологий цифровой печати. Загуститель на основе альгината натрия, например, Ламитексом Л-10, манутексом RS, альгинатом натрия отечественного производства или модифицированными эфирами крахмала. «Они необходимы для предотвращения растекания жидких чернил и, соответственно, для формирования правильной формы капли красителя» [80].

«Существуют технологии предварительной обработки тканей белковой природы (шёлк, шерсть) или целлюлозных тканей (включая вискозу), где в качестве пропиточного раствора используют щелочной раствор, содержащий сульфат аммония, нитрит натрия, карбонат натрия, тиодигликоль, мочевины, плёнкообразователь, солюционную соль, гидроксид натрия, бикарбонат натрия, глицерин, хлорид натрия или сульфат натрия в определенных концентрациях. Перед пропиткой щелочной раствор нагревают, пропитку проводят с усиленным отжимом. Полученный текстильный материал, приобретающий характеристики,

близкие к бумаге, может использоваться в качестве подложки для нанесения изображения струйным принтером» [80]

Мочевина в предпечатном составе выполняет функцию гидротропа, повышая растворимость плохо растворимых красителей в воде за счёт разрыва межмолекулярных взаимодействий. В процессе паровой фиксации мочевины способствует образованию высококонцентрированного раствора красителя и его дезагрегированию, что облегчает проникновение красителя в структуру волокна. Гидротропные вещества могут применяться в присутствии щелочных агентов для повышения эффективности восстановителей. «При нагревании мочевины может разлагаться в водных растворах гидроксида и карбоната натрия. Реакционная способность красителя также оказывает влияние на эффективность действия мочевины. Если краситель реагирует с волокном быстрее, чем мочевины со щелочью, снижение pH не будет оказывать существенного влияния на скорость фиксации. Более того, снижение pH после завершения реакции между красителем и волокном предотвращает щелочной гидролиз, образовавшейся эфирной связи» [80].

«При печати активными красителями по целлюлозным тканям печатная краска, помимо красителя, загустителя и мочевины, содержит щелочной реагент, обеспечивающую оптимальный pH для реакции красителя с волокном. В качестве щелочных агентов используются NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> • 12H<sub>2</sub>O и другие соединения» [82]. Бикарбонат натрия обеспечивает высокую устойчивость печатных красок к гидролизу. «В условиях высокой температуры, применяемой при запаривании, реакция красителя с волокном протекает достаточно интенсивно» [82].

«Введение специальных ПАВ в предпечатный состав обеспечивает катионизацию поверхностных свойств, где гидроксильные группы связаны с катионными агентами (рисунок 1.9.), в результате целлюлозные волокна в водном растворе приобретают положительный заряд и способны сорбировать красители анионного типа с образованием ионной связи» [82–84].

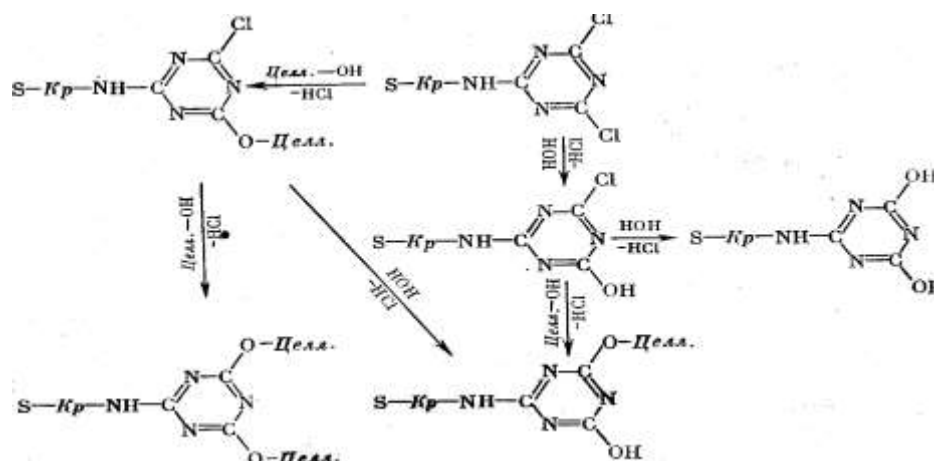


**Рисунок 1.9** – Схематическое изображение катионизированной целлюлозы [81].

Анионные красители, имеющие отрицательные заряды, притягиваются к положительно заряженным участкам катионизированной целлюлозы по принципу электростатического притяжения (ионно–ионное взаимодействие). Это сильное электростатическое взаимодействие является причиной более эффективного и глубокого проникновения красителя в структуру волокна. В результате такого усиленного взаимодействия снижается необходимость в применении дополнительных электролитов, которые обычно используются для улучшения фиксации красителя. Электролиты, хотя и способствуют фиксации, зачастую усложняют процесс окрашивания и требуют более длительной и тщательной промывки для удаления остатков. Катионизация, значительно уменьшая зависимость от электролитов, позволяет сократить время и ресурсы, затрачиваемые на мыловку и последующую промывку, а также способствует снижению негативного влияния на окружающую среду. «Более того, прочная фиксация красителя, достигаемая за счёт ионно–ионных взаимодействий, минимизирует вымывание красителя из ткани во время стирки. Это гарантирует более высокую стойкость окраски к многократным стиркам и продлевает срок службы изделия» [82–84].

Важно отметить, что для достижения ковалентной связи красителя с волокном, то есть более прочной и долговечной связи, необходимо наличие у красителя реактивных групп. Активные красители, как раз, обладают такой реакционной способностью, что делает их идеальным выбором для катионизированных волокон. «Они способны вступать в химическую нуклеофильную реакцию с целлюлозой волокна, содержащей нуклеофильные группы (–ОН), и образовывать с ними прочные ковалентные связи» [82, 85].

Существует много групп активных красителей различных по структуре и свойствам. «В последнее десятилетие налажен выпуск бифункциональных красителей, характеризующихся, как одинаковыми реакционными группами, так и различными» [85]. Наиболее часто применяют активные красители производные хлористого цианура, винилсульфона или пиримидина. «Триазиновые (производные хлористого цианура) и пиримидиновые активные красители реагируют с гидроксильными группами целлюлозы с образованием сложноэфирных связей, а винилсульфоновые с образованием простых эфирных связей» [86]. «В качестве хромофорной части активных красителей используются разнообразные хромофорные системы, характерные для кислотных и других классов красителей: моноазо-, дисазо-, антрахиноновые, фталоцианиновые и другие хромофоры» [87].



**Рисунок 1.10** – Схема взаимодействия активных моноклортриазиновых красителей с целлюлозой волокна

В современных процессах печатания активными чернилами важную роль играют катионные препараты (ПАВ), которые представляют собой четвертичные аммониевые соединения. В составе активных чернил, среди них, предпочтительны продукты с 10–14 C-атомами в алкильном остатке, препараты на основе модифицированных полиаминов представляют собой водорастворимые высокомолекулярные катионоактивные соединения линейно циклической структуры со степенью полимеризации от 100 до 500:  $[-\text{CH}_2-\text{C}_4\text{H}_6\text{N}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2-]_n$ . «Сродство к целлюлозному волокну катионизирующих соединений определено длиной алкильного остатка и

заместителей у N–атома» [7]. Причём, вид аниона четвертичной аммониевой соли не имеет особого значения. Эффективны не только низкомолекулярные монокватернизированные соли, но и бис–кватернизированные и поликватернизированные аммониевые соли. Сродство их к волокну растёт с увеличением числа кватернизированных N–атомов. Известно, что все названные четвертичные аммониевые соединения, действуют во всех фазах, например, крашения, даже после длительной высокотемпературной обработки. Катионные вещества применяются и для предварительной катионизации тканей перед печатью.

«Автором исследовано влияния катионизации текстильного материала на изменение поверхностного заряда волокна и повышенную сорбцию анионов активного красителя. Доказано электрохимическими исследованиями (измерение  $\xi$  – потенциала), что волокна хлопка под воздействием препаратов катионного типа приобретают положительный заряд и большую сорбционную способность по отношению к анионным активным красителям» [63–66]. Проведён анализ катионных соединений различного химического строения (четвертичное соединение полиаммония, четвертичная соль модифицированного полиалкиламина) в процессе предпечатной подготовки хлопчатобумажной ткани. Выявлено, что применение катионных соединений повышают показатели интенсивности окраски в 1,5–2 раза в зависимости от структуры катионного соединения. «Наилучшие результаты получены при применении катионных соединений на основе четвертичного соединения полиаммония» [88]. 1,5–2

Предварительная катионизация подготавливает волокно, создавая благоприятные условия для эффективной реакции красителя и целлюлозы, обеспечивая наилучший результат колорирования. В качестве препаратов для катионизации целлюлозных тканей известно использование катионных крахмалов, четвертичных и третичных аммониевых соединений, производных триамина, катионные полимеры, в том числе полиэлектролиты. «К катионным относят крахмалы, в молекулы которых введены катионные

группы, несущие положительный электрический заряд» [89]. «Эти группы могут быть различными: третичными аминогруппами, четвертичными аммониевыми группами, а также сульфониевыми и фосфониевыми» [90]. Такая модификация придаёт крахмалу совершенно новые свойства, благодаря которым он получил широкое распространение в различных отраслях промышленности, в частности, в производстве бумаги, текстиля и косметики. «Известно, что за счёт улучшения связей между волокнами, катионные крахмалы повышают прочность поверхности бумаги, её разрывную прочность, а также устойчивость к излому» [91]. Такое свойство может быть использовано для создания «бумажных» свойств ткани перед цифровой печати.

Для модификации крахмалов используются специальные реагенты, и среди них наиболее распространены 3-хлоро-2-гидроксипропилтриметиламмоний хлорид (ХГПТМАХ) и 2,3-эпоксипропилтриметиламмоний хлорид (ЭПТМАХ). Различные методы модификации позволяют получать катионные крахмалы с требуемыми характеристиками, что делает их пригодными для широкого спектра применений в различных отраслях промышленности, в том числе в текстильной. Однако, процесс модификации крахмалов требует тщательной оптимизации для достижения желаемого уровня катионности и сохранения при этом других важных свойств крахмала, таких как его растворимость, вязкость и стабильность, а также дополнительных операций и следовательно, приводит к удорожанию технологии и продукции в целом.

«Среди всех катионных агентов авторы» [92–93] выделяют 3-хлоро-2-гидроксипропилтриметиламмоний хлорид (ХГПТАХ) для катионизации хлопка. Установлено, что при колорировании хлопка, обработанного ХГПТАХ, текстильный материал окрашивается равномерно, которые не вступает в реакцию с целлюлозой. Сначала он превращается в 2,3-эпоксипропилтриметиламмоний хлорид (ЭПТАХ), также известный как глицидилтриметиламмоний хлорид, в результате реакции со щелочью. Затем

ЭПТАХ вступает в реакцию с гидроксильными группами хлопкового волокна в щелочной среде, образуя катионизированный хлопок. «В присутствии щелочи ХГПТАХ превращается в ЭПТАХ с частичной диссоциацией гидроксильной группы целлюлозы» [94–96].

Проведённый анализ литературных источников выявил актуальность создания оригинальных паттернов для цифровой печати хлопчатобумажных тканей, а также необходимость выбора оптимальной подготовки тканей под цифровую печать, включая оптимизацию процессов удаления сопутствующих примесей и предпечатной композиции с целью повышения степени фиксации жидких форм активных чернил.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 2.1. Технические свойства хлопчатобумажной ткани, используемой в работе

В качестве объектов исследования выбраны широкополотенные хлопчатобумажные ткани бязь, сатин и поплин, как наиболее востребованные для пошива комплектов постельного белья, сорочек, блузок, рубашек, изделий платяного ассортимента, декоративных изделий (покрывал). Технические характеристики тканей приведены в таблице 2.1.

**Таблица 2.1** - Техническая характеристика тканей

Наименование ткани, ГОСТ	Ширина, см	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Число нитей на 10 см		Разрывная нагрузка полоски ткани 50×200 см, кГС, не менее	
			основа	уток	основа	уток
суровые ткани						
Бязь-люкс П13	246+2,0	116+2	265+8	259+8	30	25
Бязь-стандарт П15	246+2,5	140+7	228+5	215+7	28	21
Сатин-люкс Т15	231+2,5	147+7	650+13	350+11	30	20
Поплин П12	246+2,0	116+2	265+8	259+8	30	25

Для биоотварки применяли ферментные препараты российского производства. Препараты имеют декларацию соответствия. Препараты получены путем культивирования выделенного направленной селекцией природного штампа микроорганизмов, по паспорту безопасности на ферментный препарат без применения технологий генной инженерии. Препараты являются совместимыми, низкотемпературными (35-58 °С), активны при рН 4,5–6,5, представляют собой сухие порошки с длительным сроком хранения, № ЕС 232–565–6. Амилаза имеет ферментную активность 2500 ед/г со сроком хранения 24 месяца при температуре от –25°С до +30°С

в сухом, защищенном от прямых солнечных лучей месте. Амилоризин – сухой ферментный препарат, получен в результате культивирования селекционированного штамма гриба *Aspergillus oryzae* с последующей очисткой и концентрированием. Альфа–амилаза грибная (Амилоризин) – ферментный препарат расщепляет молекулы крахмала с образованием мальтодекстринов, олигосахаридов и мальтозы (селективно расщепляет крахмал). Пектиназа имеет активность 30 ед/г. (пектолаза и эндо– $\alpha$ 1,4–полигалактуроноазу и др.) – пектолитический ферментный препарат для гидролиза (расщепления) растительных полисахаридов (пектиновых веществ) в том числе хлопкового волокна.

В качестве текстильных вспомогательных веществ для катионизации использованы полиэлектролиты: полидиаллилметиламмоний хлорид (ПДАДМАХ) и Каустамин 15, предоставленные предприятием ОАО "Башкирская содовая компания". Описание препаратов приведено в таблицах 2.2-2.3.

**Таблица 2.2 - Характеристика используемых полиэлектролитов**

Наименование катионного препарата	Структурная формула	Описание препарата
ПДАДМАХ	$\left[ \begin{array}{c} \text{---CH}_2\text{---} \text{HC} \text{---} \text{CH} \text{---} \text{CH}_2\text{---} \\   \qquad   \\ \text{H}_2\text{C} \quad \text{CH}_2 \\   \qquad   \\ \text{N}^+ \text{Cl}^- \\   \qquad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Полидиаллил-диметиламмоний хлориды ПДАДМАХ ОАО «БСК», г.Стерлитамак, Россия «ВПК-402» Флокулянт/коагулянт//
Каустамин 15	$\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{---N}^+ \text{---} \text{CH}_2\text{---} \text{CH} \text{---} \text{CH}_2\text{---} \\   \qquad   \\ \text{Cl}^- \quad \text{OH} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right]_n$	Четвертичный полиамин — полимер на основе эпихлоргидрина и диметиламина

Поверхностно–активные вещества, необходимые для исследований были приобретены в фирме ПО «ТОС» г. Долгопрудный и НПО « НИИПАВ» г. Волгодонск, Ростовская обл., Российская Федерация.

**Таблица 2.3 - Характеристика используемых поверхностно-активных веществ**

№	2	3
1	Бетамин КМ-5	$\begin{array}{c} \text{R}-\overset{+}{\text{N}} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \text{---} \text{CH}_2\text{COO}^- \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \\ n + m = 5 \end{array}$
2	Бетамин КМ-10	$\begin{array}{c} \text{R}-\overset{+}{\text{N}} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \text{---} \text{CH}_2\text{COO}^- \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \\ n + m = 10 \end{array}$
3	Кватамин КМ-5	$\begin{array}{c} \text{R}-\overset{+}{\text{N}} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \text{---} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \quad \text{Cl}^- \\ n + m = 5 \end{array}$
4	Кватамин КМ-10	$\begin{array}{c} \text{R}-\overset{+}{\text{N}} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \text{---} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH} \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \quad \text{Cl}^- \\ n + m = 10 \end{array}$
5	Оксамин КМ-15	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{N} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \\ n + m = 15 \end{array}$
6	Оксамин-оксид КМ-7	$\begin{array}{c} \text{R}-\text{N} \begin{array}{l} \diagup (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_m \text{H} \\ \diagdown (\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n \text{H} \end{array} \\ n + m = 15 \end{array}$
7	Катапав	$\text{R}-\text{N}^+(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{Cl}^-$ <p>Алкилбензилдиметиламмоний хлорид R = C<sub>10</sub> – C<sub>16</sub></p>
8	Алкапав	$\text{C}_n\text{H}_{2n+1} - \text{N}^+(\text{CH}_3)_3 - \text{CH}_2 \cdot \text{Cl}^-$ <p>n = 10-16 Цетилтриметиламмоний хлорид</p>

Характеристика полимеров используемых в работе в качестве загущающий и связующий агент: водная сополимерная не пластифицированная эмульсия на основе стирола и эфиров метакриловой кислоты. Акриловая эмульсия широко используется в технологиях заключительной отделки и ротационной печати.

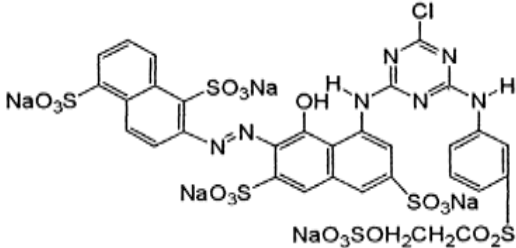
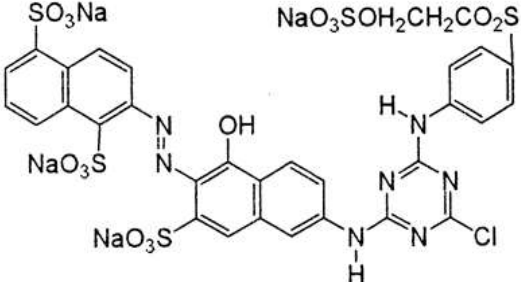
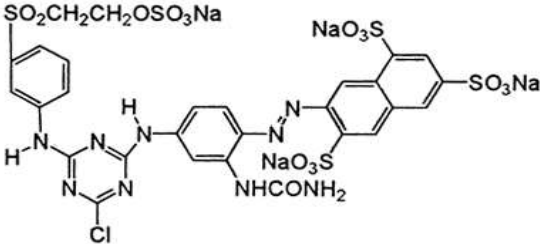
В модельном эксперименте опробованы активные монофункциональные красящие вещества, приведённые в таблице 2.4.

**Таблица 2.4** - Характеристика используемых монофункциональных красителей

Наименование красителя	Структурная формула	Молек. вес, г/моль
Активный бирюзовый 23Т		1342
Активный красно-фиолетовый 2КТ		775
Активный красно-коричневый 2КТ		805
Активный голубой 2 КТ		626,54

Бифункциональные активные красители производства Турецкой республики, используемые в экспериментах, показаны в таблице 2.5.

Таблица 2.5 - Характеристика бифункциональных активных красителей

1	<p style="text-align: center;">Активный Red 3BXF</p> 	<p style="text-align: center;">Гетеробифункциональный красители</p> <p>В структуре красителя две различные реакционные группировки — монохлортриазиновая и винилсульфоновая</p>
2	<p style="text-align: center;">Активный Orange ME2RL</p> 	
3	<p style="text-align: center;">Активный Yellow 3RXF</p> 	
4	<p style="text-align: center;">Reaktoset фиолетовый</p>	<p>Структуру производитель не раскрывает</p>

На первых этапах работы и при промышленных испытаниях для оценки качества цифровой печати капельным методом на отбеленных и биоотваренных тканях применяли промышленно – изготавливаемые марки чернил фирмы Digital Bellagio (Италия) RCS Orange, Black, yellow, magenta, light magenta, cyan, light cyan, grey, blue, red. Чернила имеют сертификат «ECO passport».

## 2.2. Методики подготовки хлопчатобумажной ткани

Подготовку тканей осуществляли в условиях отбельного цеха отделочного производства: одностадийное беление на линии ЛОУ, двухстадийное беление на линии ЛОБ с предварительной щелочной отваркой,

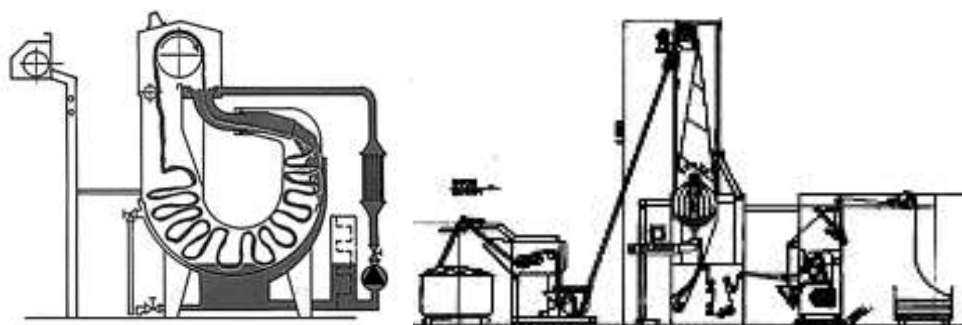
а также расшлихтовку амилазами или биоотварку (амилазы и пектиназы) на эжекторной машине с системой soft-flow – мягкий поток).

На линии ЛОУ–260 осуществляли подготовку тканей шириной 220 см расправленным полотном по способу с предварительной ферментной расшлихтовкой по плюсовочно – накатной технологии и белению по плюсовочно-запарной технологии. Схема биоотварки включает: заправка ткани в линию ЛОУ «Самойловский текстиль» (г.Иваново) и пропитка раствором с ферментом для расшлихтовки (или биоотварки) с нагревом раствора до 40 °С, рН 4,5–5,5, при скорости движения 50 м/мин, содержащим: Амилаза – 0,5 г/л; Пектиназа – 2 г/л. Давление на отжимных валах 1,5 бар, отжим 90-100% с последующей накаткой ткани в ролик и обёртывание пленкой, выдержка ткани при вращающемся ролике 2 часа. После проводится промывка в 2-х промывных ваннах: 1-я ванна – 60 °С, 2-я ванна – 90 °С с добавлением ПАВ - Сульфосид ОД г/л. 3-я ванна - 40 °С пропитка щелочно-перекисным раствором, г/л: перекись водорода, 100%-ная – 6,5-6,0, метасиликат натрия – 10,0-12,0, едкий натр, 100%-ный – 2,0–2,5, мочевины 5,0, смачиватель – 0,5, общая щелочность по фенофталеину – 2,5–3,0.

Температура рабочего щелочно-перекисного раствора 40 °С, отжим ткани 90-100%, скорость промывки 45–50 м/мин. Давление на отжимных валах 3,6-4,0 бар, отжим 100±10%. Запаривание ткани в запарной машине конвейерного типа, температура паровой среды в запарнике 100±2 °С, время запаривания 20–25 минут, промывка на промывной части «Instas»: Температура: 90–60–30–40±2 °С, скорость промывки 45–50 м/мин, противоток с 4-той ванны по 2-ю включительно, отжим 100±10%, и далее сушка на барабанной сушильной машине, давление пара 1,5–2,0 атм.

Методика щелочной отварки сатина на линии и технологический режим непрерывного щелочно-перекисного беления хлопчатобумажных тканей на линии ЛОБ–280 заключается в обеспечение первой стадии щелочной отварки. Раствор для пропитки содержал, г/л: едкий натр, 100% – 45, силикат натрия, уд.вес 1,4–3–3,5, смачиватель – 1–2, Питающий раствор, г/л: едкий

натр, 100% – 55; силикат натрия, уд.вес 1.4 – 5, смачиватель – 2,5. Температура раствора 65-70 °С. Отжим ткани до остаточной влагосодержания 95±5%. После запаривания в течение 30 минут, промывка и кислование (концентрация рабочего раствора серной кислоты – 2,5–3,0 г/л). После промывки холодной водой следует непосредственно беление: Рабочий щелочно–перекисный раствор, г/л: перекись водорода, 100% - 6-6,5, силикат натрия, уд.вес 1.4 – 8-9, едкий натр, 100% – 1,4–1,5, смачиватель – 0,5, общая щелочность по фенолу/фталеину – 2,5–3. Далее выполняют стандартные операции промывки и сушки на барабанной сушильной машине. Качественные показатели для отбелённой ткани: капиллярность – не менее 100 мм/ч; белизна – не менее 82%; степень расшлихтовки по Тевьеу – не менее 6 баллов.



**Рисунок 2.1** – Малогабаритное современное оборудование полу-непрерывного действия (эжектор) для проведения биообработки и машина для расправления жгута и отжима.

Биоотварка для эжекторной машины заключается в последовательной обработке в ферментном растворе раствора при 40°С, рН 4,5–5,5 (по рецептуре приведенной для линии ЛОУ), промывке без кислования последовательно по 10 минут горячей водой с ПАВ и холодной водой. Более подробно пропитывающий раствор будет указан в соответствующей главе экспериментальной части.

### **2.3. Технология подготовки перед цифровой печатью**

В качестве состава для подготовки для сравнительной оценки действия катионизирующих препаратов в лабораторных условиях использован действующий состав применяемый на практике. Пример

технологии предпечатной подготовки под цифровую печать активными красителями представлен в таблице 2.6. При проведении сравнительных измерений и производственных испытаний использовали также подготовленные ткани с пропиткой предпечатным составом на линии Элитекс.

Состав для предпечати в зависимости от задачи эксперимента содержал в г/л:  $\text{NaHCO}_3$  – 20 г/л или  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 40 г/л (или  $\text{NaHCO}_3$ -3-15 г/л +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 10–25 г/л), Мочевина –100 г/л, Лудигол – 5–10 г/л, Загуститель альгинат натрия 50-250 г/л (или альгинат натрия 50% и КМЦ 50%). Праймер для предпечати в части экспериментальных работ содержал ПАВ, катионизирующие реактивы, анионоактивные и амфолитные ПАВ.

**Таблица 2.6** - Базовая технология цифровой печати хлопчатобумажной ткани чернилами на основе активных красителей

Технологическая стадия	Состав текстильно-вспомогательных веществ
Нанесение праймера, плюсование (Отжим 80 - 90%)	Альгинат натрия 50-250 г Мочевина 100 г Лудигол 10 г Двууглекислый натрий 20-40 г, Вода до 1000 г
Сушка	Температура не более 100-105 °С
Цифровая печать	Чернила на основе активных красителей
Фиксация	запаривание 8 минут при 102 °С
Промывка	Промывка в холодной воде, промывка в кипящей мыльной воде, промывка в холодной воде
Сушка	Температура ниже 120 °С

Приведённая технология представляет собой типичный пример, предлагаемый фирмами изготовителями чернил для цифровой печати. Воспроизводимость результатов печати обеспечивается только при постоянной концентрации компонентов предпечатной композиции на ткани после пропитки за счёт поддержания постоянства концентрации пропиточного раствора и степени отжима.

Цифровая струйная печать относится к бесконтактному способу печати с применением жидких чернил на основе активных красителей: ткань предварительно обрабатывается предпечатной композицией; активный

краситель в составе чернил находится отдельно в картридже и наносится на подготовленную ткань. Печать материала осуществлялась в условиях:  $T = 24 \div 26$  °С, влажность воздуха 30–45 %. Подготовленная ткань заправляется в струйный принтер, на компьютере активируется команда "Печать", принтер печатает заданный рисунок на текстильном материале. Под прямой цифровой печатью по ткани понимают совокупность аналогичных технологий, предполагающих струйную печать непосредственно по текстильному материалу с последующим закреплением, полученного изображения при помощи специального оборудования для печати на ткани. Изображение наносится на ткань при помощи текстильного широкоформатного струйного принтера, заправленного типом чернил, соответствующим типу запечатываемого материала. Для закрепления изображения на ткани после печати его необходимо подвергнуть определенной обработке (нагретым паром или высокой температурой). В лабораторных условиях использовали запарник – фиксатор, в производственных – промышленный малогабаритный запарник. Фиксация красителя на текстильном материале проводилась способом запаривания в условиях: температура 102 °С, продолжительность  $T = 8$  мин. После фиксации материал подвергали промывке в холодной воде, далее следовала мыловка с раствором поверхностно-активного вещества (ПАВ) с концентрацией 2 г/л при температуре 100° С. Раствор ПАВ использовался для повышения эффективности удаления гидролизованного активного красителя с поверхности материала. Промывка осуществлялась последовательно: холодной водой – горячей водой – раствором ПАВ – теплой водой – холодной водой. Качество промывки проверялось путем проглаживания утюгом мокрого образца между белой тканью. Если гидролизанный краситель окрашивал белую ткань, это означало, что промывка не удалила с поверхности ткани гидролизанный краситель, и её повторяли.

## 2.4. Методы определения колористических характеристик окрасок

### 2.4.1. Определение цветовых характеристик

Для определения цветовых характеристик ткани применялся портативный спектрофотометр модели YS 3010. Прибор работает по стандартной оптической геометрии D/8, принятой Международной комиссией по освещению (CIE). Измерения проводились в двух режимах: SCI (Specular Component Included) – с учётом зеркальной составляющей отражения; SCE (Specular Component Excluded) – без учёта зеркальной составляющей.

Спектрофотометр регистрирует спектры отражения образцов в видимом диапазоне длин волн, включая образцы с флуоресцентными компонентами (таблица 2.9., рисунок 16, 17).

Процесс измерения осуществляется следующим образом: спектрофотометр позиционируют непосредственно на поверхности исследуемого образца. По завершении сканирования прибор автоматически выводит полученные данные в область над дисплеем, что наглядно продемонстрировано на приведённых рисунках.



Рисунок 2.2 – Спектрофотометр YS 3010



Рисунок 2.3 – Окно измерений

Цветовое различие ( $\Delta E$  показывает, насколько точно передаётся цвет при печати по сравнению с изображением на экране. Уровень цветопередачи – важный критерий при производстве. Чтобы профессионалу было легче определить, насколько эффективно оборудование, все возможные варианты были сведены к единой стандартной мере – Дельта E (величина обозначается символом  $\Delta E$ ).

Таблица 2.7 - Технические характеристики спектрофотометра YS 3010

Геометрия измерения: освещение /наблюдение	d/8°
Размер интегрирующей сферы	48мм (диам)
Спектральный анализатор	Вогнутая дифракционная решетка
Источник освещения в приборе	Светодиоды
Фотоприемник	Двумерный 256 элементный CMOS Image Sensor
Другие цветовые индексы:	Белизна WI (E313,CIE,ААТСС,Hunter), Желтизна YI (D1925,313), Устойчивость окраски, Закрашиваемость, Индекс метамеризма MI, Красящая сила, Непрозрачность, Условный блеск
Колориметрический наблюдатель	CIE 2°/10°
Стандартные излучения	D65, A, C, D50
Отображаемые данные	Цветовые координаты, Цветовое различие (в цифровом и графическом форматах), PASS/FAIL и др. цветовые индексы
Повторяемость по коэффициенту отражения (стандартное отклонение)	0.1%
Повторяемость по ΔE*	MAV/SCI: ΔE*ab ≤0.06 (Стандартное отклонение по 30 измерениям белого калибровочного эталона с интервалом 5 сек.)
Межприборная согласованность не хуже	MAV/SCI: ΔE*≤0.4

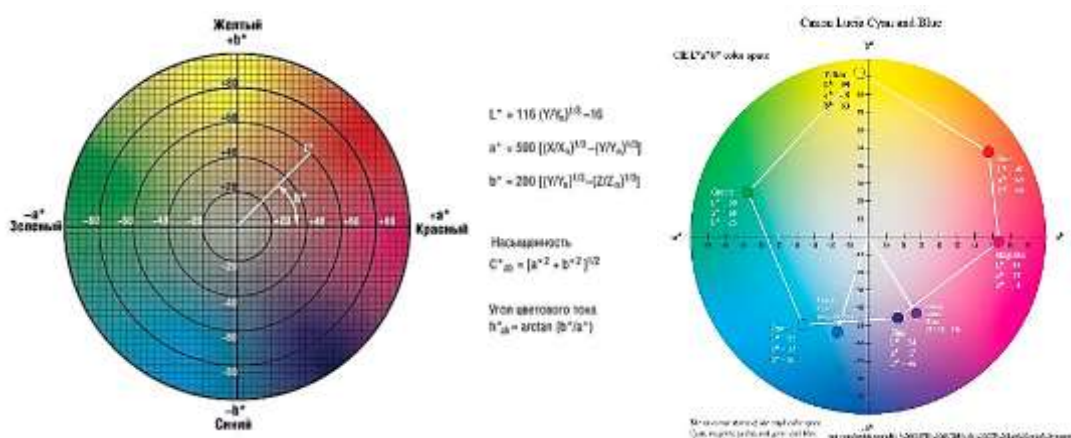


Рисунок 2.4 – Построение диаграммы цветового охвата

Официальное определение термина следующее: Delta E – измерение, которое чётко определяет разницу между характеристиками двух цветов: того, что на экране и получаемого при печати. Параметр был создан компетентной организацией – Commission Internationale de l’Eclairage (Международной комиссией по освещению).

Определяется  $\Delta E$  с применением точных координат цветов в цветовом пространстве по общепринятой формуле:

$$\Delta E = [ (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 + (\Delta L)^2 ]^{1/2}$$

Видимые диапазоны показателей Delta E начинаются от 2–4 единиц.

Шкала включает значения от 0 до 100 и делится на следующие категории: 0–1–при таком коэффициенте разница незаметна для человеческого глаза; 2–4 при пристальном наблюдении можно увидеть незначительное изменение (различия становятся видимыми примерно с 2.3); 5–10–разница практически сразу заметна для зрителя; 11 – 49 между исходными и получаемыми оттенками больше сходства, чем отличий; 50–99 здесь различий больше, чем сходства; 100 цвета прямо противоположны. Чем меньше показатель  $\Delta E$ , тем лучше: значит, техника точно воспроизводит заданные цвета. В идеале  $\Delta E$  должна быть как можно ближе к нулю.  $\Delta E$  – объективный параметр, своего рода эталон в измерении цветопередачи, который одинаково эффективно работает для разных видов цифрового и печатного оборудования. Цветовое различие выводится на экран цветоизмерительного комплекса. Полученные данные со светоизмерительного комплекса использовались для построения диаграммы цветового охвата.

#### **2.4.2. Оценка колористических характеристик напечатанных образцов**

Для определения колористических показателей окраски хлопчатобумажной ткани проводились измерения интенсивности окраски у полученных образцов. Исследование проводилось на спектрофотометре YS

3010, в котором используется стандартная CIE оптическая геометрия D/8 и выполняются измерения в двух режимах – с включением (SCI) и с (SCE) зеркальной составляющей. Прибор измеряет спектры отражения образцов в видимой области излучения, в том числе флуоресцентных.

Интенсивность окраски определялась с использованием уравнения Гуревича–Кубелки–Мунки. Для этого снимались спектры отражения окрашенных образцов на спектрофотометре YS 3010.

В процессе вычислений в качестве ординат спектров отражения используют так называемую функцию Кубелки-Мунка-Гуревича:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R} - \frac{(1 - R_0)^2}{2R}$$

Здесь  $K$  – коэффициент поглощения света (данной длины волны);  $S$  – коэффициент рассеяния;  $R$ –коэффициент отражения окрашенной ткани (при той же длине волны);  $R_0$  – коэффициент отражения неокрашенной ткани.

### **2.4.3. Определение степени фиксации активных красителей, входящих в состав чернил**

Содержание активной формы красителей в составе чернил до и после промывки окрашенного текстильного материала определяет степень их фиксации. Степень фиксации активных красителей, входящих в состав чернил, является важной характеристикой эффективности предпечатной подготовки хлопчатобумажной ткани. Метод кислотных гидрозолей позволяет определить относительное содержание активной формы красителей в составе чернил до и после промывки текстильного материала.

Метод кислотных гидрозолей заключается в сравнении оптических плотностей растворенных в серной концентрированной кислоте окрашенных образцов хлопчатобумажных текстильных материалов до их промывки ( $D_0$ ) и после промывки и мыловки по стандартным режимам ( $D_\phi$ ):

$$C_\phi = \frac{D_\phi}{D_0} * 100\%$$

Образцы, взвешенные с точностью до 0,001 г, растворялись при охлаждении в 20 мл концентрированной серной кислоты ( $\rho = 1,834$ ) в течение 1–2 суток. Полученные растворы разбавлялись дистиллированной водой (в присутствии ПАВ) и колориметрировались.

#### **2.4.4. Определение гидрофильных свойств тканей.**

Капиллярность текстильных материалов (ГОСТ 3816-81) это характеристика водопоглощающей способности продольных пор в материале. Испытание проводится на специальном приборе, состоящим из штатива с держателем и ёмкости с раствором двуххромокислого калия.

Время впитывания воды (капельный тест): Гидрофильность (впитываемость, сек) ткани определяли с помощью теста на капли воды в соответствии с NBR 13000. Ткань закрепляли в пальцах, а бюретку, содержащую дистиллированную воду ( $20 \pm 2$  °C), располагали на расстоянии 40 мм от поверхности ткани. Время впитывания воды определяется как время (в секундах) между контактом капли воды с тканью и исчезновением капли воды в ткани, и оно было рассчитано как среднее значение пяти измерений, сделанных в разных местах образца. Чем короче время смачивания, тем лучше впитывающая способность ткани. В соответствии с критериями Неруркара, время впитывания воды  $\leq 5$  секундам соответствует достаточной впитывающей способности хлопчатобумажных тканей.

#### **2.4.5. Устойчивость печати к физико – химическим воздействиям**

Определение устойчивости окраски к стиркам ГОСТ 9733.4–83. Данный стандарт распространяется на текстильные материалы и устанавливает метод испытания устойчивости окраски к стиркам в условиях от мягких до жёстких. Метод основан на механическом перемешивании рабочей пробы вместе со смежными тканями в стиральных растворах при определённых температуре и времени. Определение устойчивости окраски к «поту» ГОСТ 9733.6–83. Настоящий стандарт распространяется на текстильные материалы и устанавливает методы испытаний устойчивости

окрасок к действию человеческого пота. Методы основаны на обработке испытуемой пробы вместе с пробами неокрашенных тканей растворами, содержащими гистидин с поваренной солью или поваренную соль при определенных условиях. Определение устойчивости окраски к трению ГОСТ 9733.27–83. Данный метод основан на закрашивании неокрашенной сухой или мокрой ткани при трении об сухой испытуемый образец. Для определения устойчивости окраски к трению используется прибор ПТ–4, а так же шкала серых эталонов для определения степени закрашивания неокрашенной ткани.

#### **2.4.5. Методы допечатной обработки цифрового изображения.**

Из известных векторных редакторов, таких как программное обеспечение для растровой графики Adobe Photoshop и для векторной графики Adobe Illustrator, CorelDRAW выбран многофункциональный профессиональный редактор изображений, который используется для решения различного спектра задач, а именно программное обеспечение для векторной графики InkScape. Это свободно распространяемый векторный графический редактор.

## **ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ**

### **3.1. Получение цифровых аналогов и цифровых паттернов**

На первом этапе экспериментальной части выполнена разработка цифровых аналогов орнаментальных композиций и подготовка печатных паттернов, предназначенных для прямой цифровой струйной печати активными красителями на хлопчатобумажных тканях. Экспериментальная печать и технологическая апробация подготовленных цифровых оригиналов проводились на двух производственных площадках: на промышленном текстильном принтере, установленном на ОСП «Самойловский текстиль», а также в производственных условиях ООО «Пилаи точик». Такое построение экспериментальной базы позволило проверить технологическую пригодность разработанных паттернов в реальных условиях эксплуатации оборудования и подтвердить воспроизводимость печатного результата.

Цель этапа заключалась в формировании корректного цифрового оригинала, обеспечивающего воспроизводимость раппорта, масштабную точность, заданную колористику и стабильность визуального эффекта при печати на хлопчатобумажном основании. В качестве исходного материала использованы исторические мотивы абровой орнаментации (икат), рассматриваемые в рамках данного исследования как источник форм и композиционных решений для последующей технологической адаптации к цифровой печати.

Процесс получения цифровых паттернов включал: оцифровку выбранных прототипов; графическую обработку и очистку изображения; нормализацию композиции и формирование бесшовного раппорта; масштабирование под технологические ограничения печатного оборудования; колористическую настройку (в том числе с ориентацией на актуальные палитры текстильного дизайна). Подготовленные цифровые паттерны использованы далее в эксперименте для оценки влияния

параметров цифрового изображения на цветовые характеристики отпечатка, чёткость элементов орнамента и устойчивость получаемого результата.

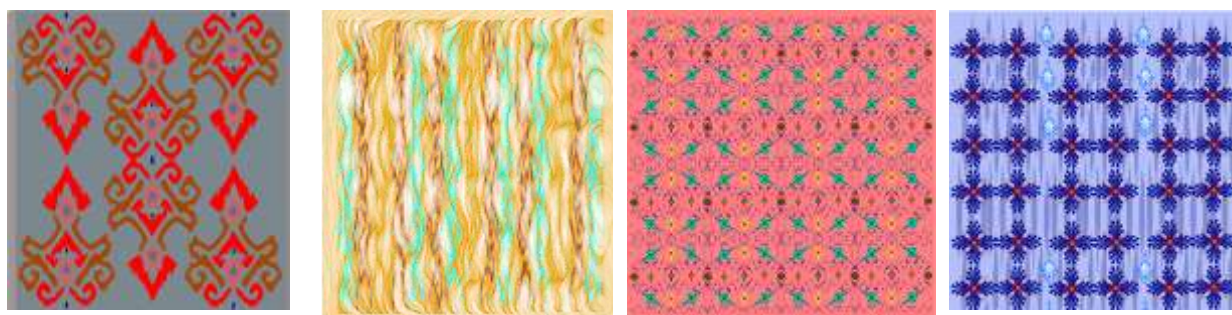
По итогам этапа сформирован набор цифровых оригиналов (паттернов), пригодных для прямой цифровой печати активными красителями и обеспечивающих сопоставимость результатов при выполнении печати на двух указанных производственных базах. Полученные паттерны использованы в последующих разделах главы 3 при анализе влияния подготовки цифрового изображения и технологической подготовки ткани на показатели качества печати.

Анализ собранных материалов послужил основой создания новых мотивов и орнаментов для цифровой печати хлопчатобумажных тканей шириной 220 см бельевой группы, а также с возможностью применения для пошива сорочек, блузок и иных изделий летнего ассортимента первого и второго слоя одежды. При разработке орнаментов был использован программный продукт (Inkscape), позволяющий осуществлять выбор цветов, векторизовать рисунки, мотивы, создавать раппорт ткани, проектировать изделия и т.д. Опираясь на исторические прототипы, с использованием данной программы были разработаны орнаменты для хлопчатобумажных тканей плательной и постельной группы, совмещающие узоры икатов и вышивки Таджикистана. Разработанные орнаменты были напечатаны методом цифровой струйной прямой печати с использованием пигментных чернил фирмы RCS (cyan, magenta, yellow, black, blue, red). Требования к файлам для печати на тканях: файлы должны быть в формате (.tif). Печать производили на цифровом плоттере Mimaki MS JPK в условиях «Самойловский текстиль» ООО Нордтекс (г.Иваново). Созданные цифровые версии не требовали корректировок со стороны других специалистов производства (рисунок 3.1.).

В отличие от классической печати, где яркость и интенсивность цвета достигается увеличением концентрации красителя в составе печатной краски,

в цифровой печати это обеспечивается настройкой цифрового изображения и размером капли чернил в объёме ячейки.





**Рисунок 3.1** – Цифровые версии мотивов для орнаментов хлопчатобумажных тканей предназначенных для сорочечных изделий и пошива комплектов постельного белья.



Визуализация применения цифрового орнамента на модели изделия.

С использованием возможностей цифровой доподготовки изображения произведена настройка масштаба (33,50, 100, 200,300, 400), яркости (от-20 до +20) и контраста.

Разработанные мотивы и бесшовные орнаменты на основе национальных тканей применены для цифровой печати активными чернилами и оптимизации её параметров для получения качественной продукции рациональным способом.

### **3.2. Влияние параметров настройки цифрового аналога на результаты печати**

Для того, чтобы гарантированно получить идеальный принт на ткани, обычно проводят цветопробы (рисунок 3.2.). Это способ практически проверить конечный результат и убедиться в том, что качество изображения будет как на присланном заказчике изображении. Несмотря на то, что

проведение цветопробы потребует некоторых затрат, потери будут не такими масштабными, как в случае с испорченным тиражом. При необходимости печати на разных типах ткани цветопроба проводится на каждом из вариантов. Можно поэкспериментировать и выполнить принт в нескольких цветовых гаммах, а затем сравнить и выбрать наилучший.



**Рисунок 3.2** – Линейка корректуры, цвета-стандарты










Для сокращения этих затрат предложена корректировка изображения по выявленным зависимостям. Получены данные цифровой печати в условиях ОАО «Самойловский текстиль». Печать на хлопчатобумажном сатине поверхностной плотности  $119 \text{ г/м}^2$  и шириной 220 см производили на цифровом плоттере Mimaki MS JPK активными чернилами RCS (cyan, magenta, yellow, black, blue, red) в 4 прохода (DPD 7) на производстве ОАО «Самойловский текстиль». Состав для предпечати содержал в г/л:  $\text{NaHCO}_3$  – 20 г/л,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 40 г/л (или  $\text{NaHCO}_3$ –3–15 г/л +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 25 г/л), Мочевина–100 г/л, Лудигол–5–10 г/л, Загуститель альгинат натрия 100-г/л (или альгинат натрия 50% и КМЦ 50%). Паттерн орнамента разработан в формате tif. Результаты представлены в таблице.

Известно, что при увеличении разрешения изображения от 150 dpi и, например, 300 dpi не отражается на качестве печатного рисунка. «Тяжелые» цифровые версии паттерна затрудняют работу операторов. Рекомендуемое разрешение от 72 до 150 dpi. Для представленного нами цифрового оригинала паттерна в размере файла 1773 точки на ширину и 2213 точки в высоту при разрешении 1000 точек на дюйм по обеим осям его фактический печатный размер составил 4,4. см в ширину и 5,6 в высоту.

После нанесения известного предпечатного состава, традиционно применяемого на производстве, ткань высушивали при температуре не более  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . После цифровой струйной прямой печати рисунок фиксировали на

текстильном материале на малогабаритном зрельнике. После промывки по стандартному режиму (холодная вода, мыловка при 90–98 °С ПАВ Сульфосид 0,5 г/л, тёплая вода 60 °С, тёплая вода 60 °С, холодная вода) на малогабаритной промывной установке материал обрабатывали на сушильно-ширильной линии Элитекс. Можно видеть существенные изменения цветовых характеристик печатного рисунка на ткани сатин в зависимости от варьирования яркости, масштаба и контрастности. На основе полученных данных построены зависимости, позволяющие производителям оперативно изменять параметры настройки для получения требуемых характеристик цвета печатного рисунка. Для оценки качества текстильной печати использованы цветовые характеристики системы CIElab, показатель цветового тона, произведён расчёт показателя  $\Delta E$  (цветовое различие).

**Таблица 3.1** - Масштабирование орнаментов и изменение параметров печати

Цифровые аналоги				
				
Цифровая версия А Без фона (белоземельный орнамент)	Цифровая версия Б (с фоном, грунтовый орнамент)	Цифровая версия В (с фоном, грунтовый орнамент)	Цифровая версия Г (белоземельный орнамент)	
Изменение по масштабу ( реальная текстильная цифровая прямая печать)				
				
33	50	100	200	400

**Таблица 3.2** - Влияние параметров настройки цифрового аналога (масштаба) на результаты печати на отбеленном хлопчатобумажном Сатине-люкс (плотн. 119г/м<sup>2</sup>), (паттерны: А и Б).

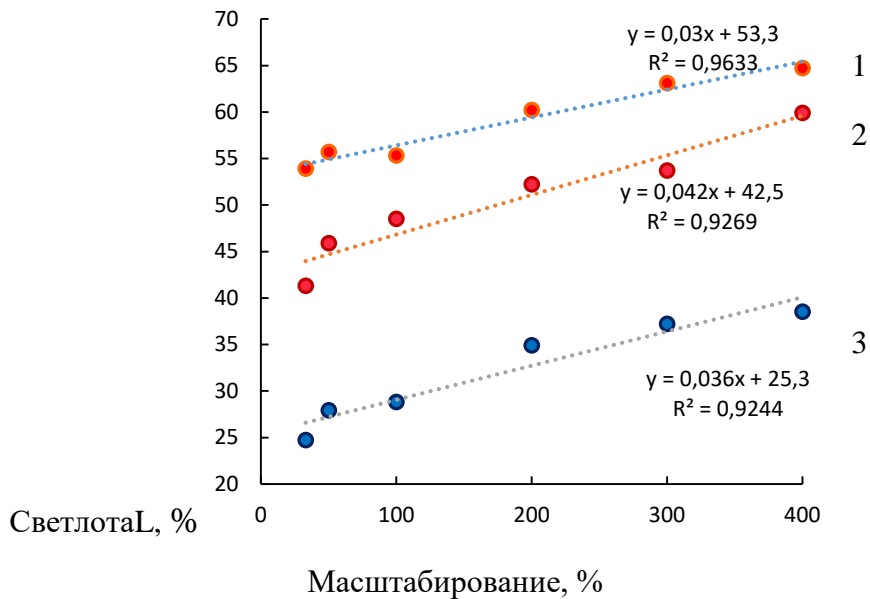
Цвет/масштаб, %	а +краснее/-зеленее	б +желтое/-синее	Н, Цветовой тон
<b>Бледно-красный цвет</b>			
33	33,5	30,5	13
50	34,2	33,8	15
100	36,9	41,6	18
200	38,2	46,9	20
300	43,4	47,7	17
400	43,7	46,4	16
<b>Синий цвет</b>			
33	9,4	-45,1	215
50	18,9	-56,7	216
100	16,8	-53,1	218
200	22,9	-56,6	223
300	24,2	-56,4	221
400	23,7	-54,2	22
<b>Ярко-красный</b>			
33	36,9	-10,9	324
50	42,2	-7,2	331
100	52,6	28,8	0
200	54,6	28,6	0
300	53,9	31,9	360
400	54,5	35,1	4

**Таблица 3.3** - Влияние параметров настройки цифрового аналога (яркости, контраста, масштаба) на результат печати на отбеленном хлопчатобумажном сатине (плотн. 119 г/м<sup>2</sup>), (использованы разработанные паттерны В и Г)

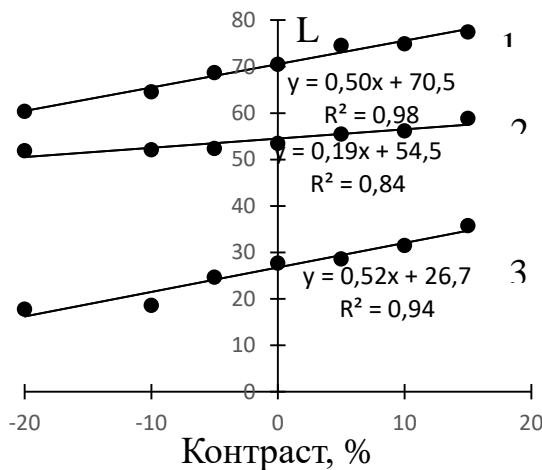
Цвет/параметр, %	а +краснее/-зеленее	б +желтое/ -синее	Н	ΔЕ
<b>Красный цвет</b>				
<b>Контраст</b>				
-20	54,2	31,3	1	4,6
-10	55,1	31,4	1	3,9
-5	55,2	31,6	2	3,6
+5	54,9	34,9	2	3,3
+10	55,4	34,4	3	3,4
+15	54,3	36,5	5	6,6
оригинал	57,4	34,2	2	0

<b>Яркость</b>				
-20	52,1	29,9	0	9,6
-10	54,6	30,8	0	5,9
-5	55,4	32,1	1	3,4
+5	49,7	33,8	6	7,7
+10	49,7	30,9	4	8,4
+15	46,9	31,9	7	11,6
Оригинал	57,4	34,2	2	0
<b>Ярко-синий цвет</b>				
<b>Контраст</b>				
-20	32,6	-55,3	228	15,3
-10	30,8	-54,0	228	13,1
-5	25,4	-52,8	225	6,4
+5	24,8	-53,2	227	6,0
+10	24,6	-55,2	225	8,8
+15	24,6	-52,3	227	9,5
Оригинал	24,2	-47,3	227	0
<b>Яркость</b>				
-20	18,3	-48,1	230	9,6
-10	22,2	-50,6	229	5,3
-5	23,5	-52,1	228	4,9
+5	22,4	-50,1	227	3,4
+10	17,9	-49,3	224	6,7
+15	17,1	-49,9	224	8,6
Оригинал	24,2	-47,3	227	0
<b>Желтый цвет</b>				
<b>Контраст</b>				
-20	1,6	64,6	45	11,6
-10	2,6	66,8	46	6,8
-5	4,6	68,2	47	2,1
+5	-1,1	74,5	49	9,2
+10	-1,2	75,2	50	9,8
+15	-1,6	75,5	49	11,6
Оригинал 0	5,1	69,1	46	0
<b>Яркость</b>				
-15	1,1	64,7	42	10,3
-10	2,8	65,6	43	6,5

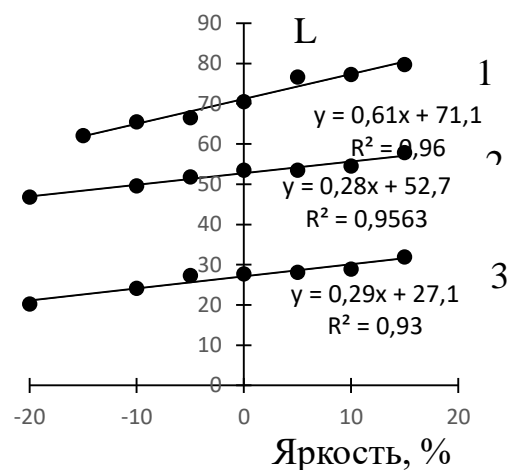
-5	4,1	66,7	44	4,8
+5	-1,2	76,1	48	11,2
+10	-2,5	75,5	50	12,0
+15	-6,5	71,7	52	15,0
Оригинал 0	5,1	69,1	46	0



**Рисунок 3.3** – Влияние масштабирования на цветовые характеристики L хлопчатобумажного сатина с цифровой печатью, где 1-бледно-красные чернила, 2-ярко-красные чернила, 3- синие чернила



**Рисунок 3.4** – Влияние изменения контраста на цветовые характеристики (светлоты L) хлопчатобумажного сатина с цифровой печатью, где 1 – желтые чернила, 2 – красные чернила, 3 – синие чернила



**Рисунок 3.5** – Влияние изменения яркости на цветовые характеристики (светлоты L) хлопчатобумажного сатина с цифровой печатью, где 1 – желтые чернила, 2 – красные чернила, 3 – синие чернила

Печать производили на цифровом плоттере MimakiMS JPK активными чернилами RSC (cyan, magenta, yellow, black, blue, red). Изменение цветового тона незначительное. У желтых чернил цветовой тон изменяется в диапазоне от 43 до 52, у красных – от 0 до 7, у синих – от 223 до 229.

На рисунках 3.3. – 3.5. представлены зависимости параметров настройки цифрового изображения печатного рисунка на показатель L (светлота, %). Все полученные зависимости описаны уравнениями, имеющими высокий коэффициент аппроксимации ( $R^2$ ), что свидетельствует о соответствии уравнения полученным экспериментальным данным. Все кривые имеют линейный характер и позволяют прогнозировать реальный (фактический) результат печати активными чернилами на ткани в зависимости от варьирования контрастности, яркости и масштаба изображения печатного рисунка. В таблице суммированы данные, иллюстрирующие изменение показателей a и b системы CILab, цветового тона и цветового различия.

**Таблица 3.4** – Сравнительный анализ цветовых характеристик цифрового аналога и материалов с печатным рисунком активными чернилами (бумага, хлопчатобумажная ткань) белизна бумаги и ткани 80%.

Цвет	Аналоговое изображение				Печать на бумажном носителе				Прямая печать чернилами на хлопчатобумажной ткани			
	L	a	b	H	L	a	b	H	L	a	b	H
Фиолетовый	34	71	-106	256	26	19	-25	263	25	19	-31	252
Голубой	50	6	-81	212	51	-10	-33	200	43	5	-40	214
Желтый	97	-15	103	60	70	13	71	41	84	-9	63	53
Алый	63	92	30	336	42	52	7	342	38	47	4	341
Зеленый	83	-121	56	143	44	-30	16	140	53	-19	13	123

За образец сравнения для расчёта цветового различия выбран цвет печатного рисунка оригинала, т.е. без изменения настройки изменение цветового тона незначительное. У желтых чернил цветовой тон изменяется в

диапазоне от 46 до 52, у красных – от 2 до 7, у синих – от 227 до 224. Показатель цветового различия ( $\Delta E$ ) варьируется в пределах более 2, что является видимым и существенным изменением для человеческого глаза. Максимальные его значения наблюдаются при увеличении (уменьшении) контраста до 6,6 – для красного цвета, для синего цвета до 9,5, для желтого соответственно до 11,6. При увеличении яркости отмечено ещё большие цветовые отличия по сравнению с оригиналом. При изменении яркости большее цветовое различие по сравнению с оригиналом отмечено для красного и желтого цвета соответственно 11,6 и 15,0.

Определены зависимости цветовых характеристик цвета печатного рисунка, полученного на текстильном плоттере с использованием прямой печати активными чернилами от параметров настройки цифрового изображения (масштаба, яркости, контраста). Установлена линейная зависимость с высоким коэффициентом аппроксимации ( $R^2$  более 0,9), позволяющие прогнозировать результат текстильной прямой печати на хлопчатобумажной ткани без создания пробного образца.

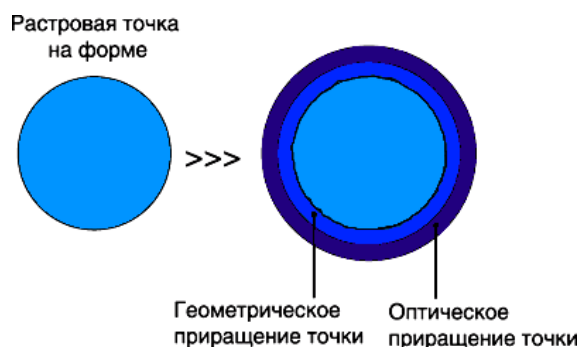
### **3.3. Влияние способа подготовки хлопчатобумажной ткани на технические свойства материала и результат цифровой печати**

К современным цифровым технологиям в области отделки текстильных материалов относится прямая струйная печать, реализуемая на текстильных плоттерах, которая обладает преимуществами перед ротационной печатью с сетчатыми валами, но требует специальной подготовки. Особые требования предъявляются к капиллярным свойствам (мм/час) и впитываемости (сек). В работе представлены результаты изучения влияния подготовки целлюлозных хлопчатобумажных материалов на качество цифровой печати, цветовые характеристики. Получены зависимости цветовых характеристик печатных рисунков от способа подготовки ткани (биоотварка, щелочно-перекисное беление).

В настоящее время процесс прямой струйной печати включает две технологические разновидности: «chromojet» и «inkjet». В первом случае для

печати используют низковязкие составы, содержащие загуститель, краситель и текстильно-вспомогательные вещества, количество цветов не превышает 10, что соответствует традиционным способам печати. При реализации технологии «inkjet» применяются высококонцентрированные растворы красителей, текстильно-вспомогательные вещества, как правило, наносятся на текстильный материал перед процессом печати (стадия предобработки). В данном случае окраска формируется непосредственно на волокнистом субстрате и количество получаемых цветов практически неограниченно, что позволяет воспроизводить рисунки с фотографической точностью и тончайшими цветовыми переходами.

Электронный дизайн – макет изображения для прямой струйной печати активными чернилами на текстильном плоттере состоит из множества идеально ровных и округлых точек, с диаметром, который требуется для передачи нужного полутона и цвета. Попадая на целлюлозную хлопчатобумажную ткань, капля чернил растекается и принимает неправильную форму. Явление приращения площади растровой точки при печатании получило название растискивания.



**Рисунок 3.6** – Геометрическое и оптическое приращения растровой точки (капли) при цифровой печати.

Геометрическое и оптическое приращение точек раstra увеличивает запечатанную область материала и уменьшает пробелы между растровыми точками. В результате изображение становится более расплывчатым, снижается его контрастность и ухудшается общее восприятие. Из-за возможного смещения точек (капель) на ткани происходит загрязнение цвета.

На рисунке схематично представлено сравнение растровой точки на печатной некапиллярной форме (слева) и растровой точки на хлопчатобумажной ткани (справа). Точка на бумажном носителе имеет четкую геометрическую форму, а на текстильном материале – приращение (рисунок 3.6.).

Задача печатания при помощи струйной печати состоит в исключении растекания, в обеспечении стабильности капли чернил на поверхности материала и компенсации растекания капли на этапе подготовки к печати. Геометрическое и оптическое приращение точек раstra увеличивает напечатанную область материала и уменьшает пробелы между каплями красителя (чернил). В результате изображение становится более темным, снижается его контрастность и ухудшается общее восприятие. Если не изменить растискивание, то в реальности оттиск будет значительно темнее.

Растискивание зависит от впитывающей способности ткани и её капиллярных свойств. Изначально капли имеют небольшой бугорок в центре, с которого краска стекает в периферийные области, образуя по краю тонкий ореол, то есть происходит растискивание точки раstra. При условии, что вязкость краски в условиях печати была одинаковой, то интересно оценить влияние качества подготовки на результат растекания (растискивания) капли. Влиять на растекание капли чернил можно при помощи специальных составов, содержащих связующие полимеры и иные компоненты, изменяющие капиллярные свойства материала и удерживающие растекание капли. Второй способ – это выбор способа подготовки ткани с созданием определенной капиллярности и впитываемости.

Также необходимо не забывать, что ткань для печати имеет свои оттенки, особенно ткани не прошедшие стадию перекисного отбеливания. Такие ткани содержат природные красители, что может существенно повлиять на цветопередачу.

Подготовка к колорированию, особенно при печати активными красителями, является важнейшей в технологиях отделки текстильных материалов. Она определяет многие свойства готовых тканей, в том числе

мягкость, гигроскопичность, фактуру, прочность на разрыв, устойчивость к истиранию и другие. Традиционная стратегия, которой руководствуются специалисты, это максимально возможное удаление сопутствующих примесей и деструкция природных красящих веществ для обеспечения высокой сорбционной способности и реакционной активности по отношению к активным красителям. Однако, в процессе химической подготовки возможна усадка, изменение физико-механических свойств тканей с заметной потерей прочности в следствие деструкции волокнообразующего полимера (целлюлозы). Такие негативные явления, несмотря на оптимизацию процесса, наблюдаются при использовании высокотемпературной щелочной отварки и щелочно-перекисного беления.

«Работами совместно проводимыми на кафедрах ХТВМ Ивановского химико – технологического университета и Технологического университета Таджикистана доказана возможность замены классической щелочной отварки на биоотварку с ферментами, работающими в более мягких условиях» [97–100]. Это позволяет избежать высокого энергопотребления и серьезных проблем с загрязнением сточных вод. Малоизученным остается вопрос о специфике образования цвета в процессе цифровой печати при условии сохранения природных красящих веществ хлопка в процессе ферментативной обработки (подготовки). «Хотя, на данный момент известно» [101–116], что на стадии биоотварки удаление натуральных флавоновых пигментов, ответственных за желтизну хлопка-сырца, превосходит результаты щелочной отварки. Это обеспечивается за счёт нарушения структуры пектино – липидно – белкового слоя веществ к которым присоединены природные пигменты. Деградация и растворение пектинов дестабилизируют первичную стенку и способствуют удалению гидрофобных триглицеридов и восков, что приводит к увеличению водопоглощения. Эти структурные изменения на поверхности хлопковых волокон «деэкранируют» больше полярных гидроксильных групп целлюлозы

и повышают гидрофильность, что является важным фактором для улучшения водопоглощения и окрашиваемости хлопчатобумажных тканей.

Стратегия построения рациональной технологии подготовки с применением биоотварки заключается в селективной деструкции крахмала шлихты (технологического загрязнения), удалении части нецеллюлозных примесей, а именно восков и пектинов. При этом основной задачей ставится сохранение природных красящих веществ хлопка и структуры ценного биополимера целлюлозы. Управление качеством осуществляется за счёт применения высокоселективных ферментов, способных целенаправленно катализировать гидролиз простых и сложных полисахаридов, входящих в структуру натуральных целлюлозных волокон. Выбор ферментов для модификации волокна обусловлен необходимостью гидролиза амилозы и амилопектина крахмала шлихты, а также полигалактоуридов. Поэтому в качестве ферментов использованы препараты, производимые на предприятии РФ (ООО Биопрепарат), а именно Пектиназа (эндо- $\alpha$ 1,4-полигалактуроназа, 60 ед/г), катализирующая гидролиз внутренних 1-4-связанных  $\alpha$ -D- галактуронозидных связей полисахаридах.

Современные хлопчатобумажные ткани имеют низкую засорённой «галочкой», выработаны из хлопка высокой степени очистки и качества, что дает возможность отказаться от ранее применяемых «агрессивных» технологий подготовки перед печатью. Не менее интересна стратегия на сохранение природного цвета тканей как базы для цветоформирования модных оттенков. Исключение химических технологий подготовки важно не только с экологической и с экономической точек зрения, но и важно для сохранения свойств природного полимера (целлюлозы).

Цифровая струйная печать относится к бесконтактному способу печати с применением жидких чернил на основе активных красителей: ткань предварительно обрабатывается предпечатной композицией, а активный

краситель в составе чернил находится отдельно в картридже и наносится на подготовленную ткань. Печать материала осуществлялась в условиях:  $T = 24 - 26$  °С, влажность воздуха не менее 40–45 %. В качестве текстильного материала для проведения исследований использовались суровые, биоотваренные и отбеленные хлопчатобумажные ткани: бязь (135 г/м<sup>2</sup>), поплин (116 г/м<sup>2</sup>) и сатин (140 г/м<sup>2</sup>) и другие. «Выбранные для исследования ткани, выработаны из хлопкового волокна высокого качества и имели низкое содержание инкрустирующих сорных примесей «галочки», не более 2 шт/м<sup>2</sup>. Биоотварку проводили на эжекторе установленном на ОСП «Самойловский текстиль» ООО «Нордтекс» при температуре 37–45 °С в течение 60 минут с применением кислых амилаз и пектиназ ООО Биопрепарат (г. Воронеж). Одностадийное и двухстадийное щелочно – перекисное беление для всех артикулов тканей проводили на линии ЛОБ согласно действующим режимам производства, описанным в методической части работы» [10].

Состав для предпечати в данном эксперименте содержал на в г/л:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 25, мочевины – 100, Лудигол – 10, и загуститель альгинат натрия 100. Состав наносился на текстильный материал путем пропитки и отжима на промышленной плюсовке до 70 % остаточной влажности с последующей сушкой на сушильно – ширильной линии при температуре не более 100–105°С.

Эксперимент проводили на хлопчатобумажных тканях различной поверхностной плотности активными чернилами марки Digistar Bellagio RCS Kiiian Digital (Италия). Чернила нагреваются в печатающих головках текстильного принтера до температуры 40 °С, чтобы получить стабильную вязкость и как результат стабильный размер капли. Для моделирования процесса струйной печати использовали метод капли. Для этого фиксированный объём капли 0,1 мл из раствора чернил, нагретых до 40° С, из микропипетки наносили на ткань без или с предпечатным составом. Далее процедура была аналогичной производственному режиму. Фиксация активного красителя (чернил) на текстильном материале проводилась в

условиях производства путем запаривания образцов при температуре 100–102 °С в течение 8 минут на запарном малогабаритном промышленном зрельнике. После промывки по стандартному режиму (холодная вода, тёплая вода 60 °С, мыловка при 85 °С с ПАВ Сульфосид 0,5 г/л, тёплая вода 60 °С, холодная вода) на малогабаритной промывной установке, материал обрабатывали на сушильно-ширильной линии.

Для оценки качества текстильной печати использованы цветовые характеристики системы CIElab, показатель цветового тона, произведён расчёт показателя  $\Delta E$  (цветовое различие). Диапазоны коэффициента  $\Delta E$  0–1 – разница в образцах незаметна для человеческого глаза, при  $\Delta E$  2–4 — при пристальном наблюдении можно увидеть незначительное изменение. Различия становятся видимыми с  $\Delta E$  более 2,3, а при  $\Delta E$  более 11 и до 49 сходства в цвете сохраняется, но существенны отличия в оттенке.

Для определения степень фиксации активных красителей использовали метод кислотных гидрозолей, который заключается в сравнении оптических плотностей растворенных в серной концентрированной кислоте окрашенных образцов хлопчатобумажных текстильных материалов до их промывки ( $D_0$ ) и после промывки и мыловки по стандартным режимам ( $D_f$ ).

Электронный дизайн – макет изображения для прямой струйной печати активными чернилами состоит из множества идеально ровных и округлых точек, с диаметром, который требуется для передачи нужного полутона и цвета. Однако проблема прямой струйной печати заключается в том, что капля чернил искажается при попадании на текстильный материал, что влияет на качество печати. Деформация возникает в зависимости от того попадает капля на основную или уточную пряжу, от капиллярности и впитываемости ткани. Явление приращения площади растровой точки при печатании получило название растискивания. В результате изображение становится более расплывчатым, снижается его контрастность и ухудшается общее восприятие. На рисунке 3.7. схематично представлено сравнение растровой точки на печатной некапиллярной форме (слева) и растровой

точки на капиллярной хлопчатобумажной ткани (справа). Можно видеть, что капля на капиллярном текстильном материале имеет приращение.

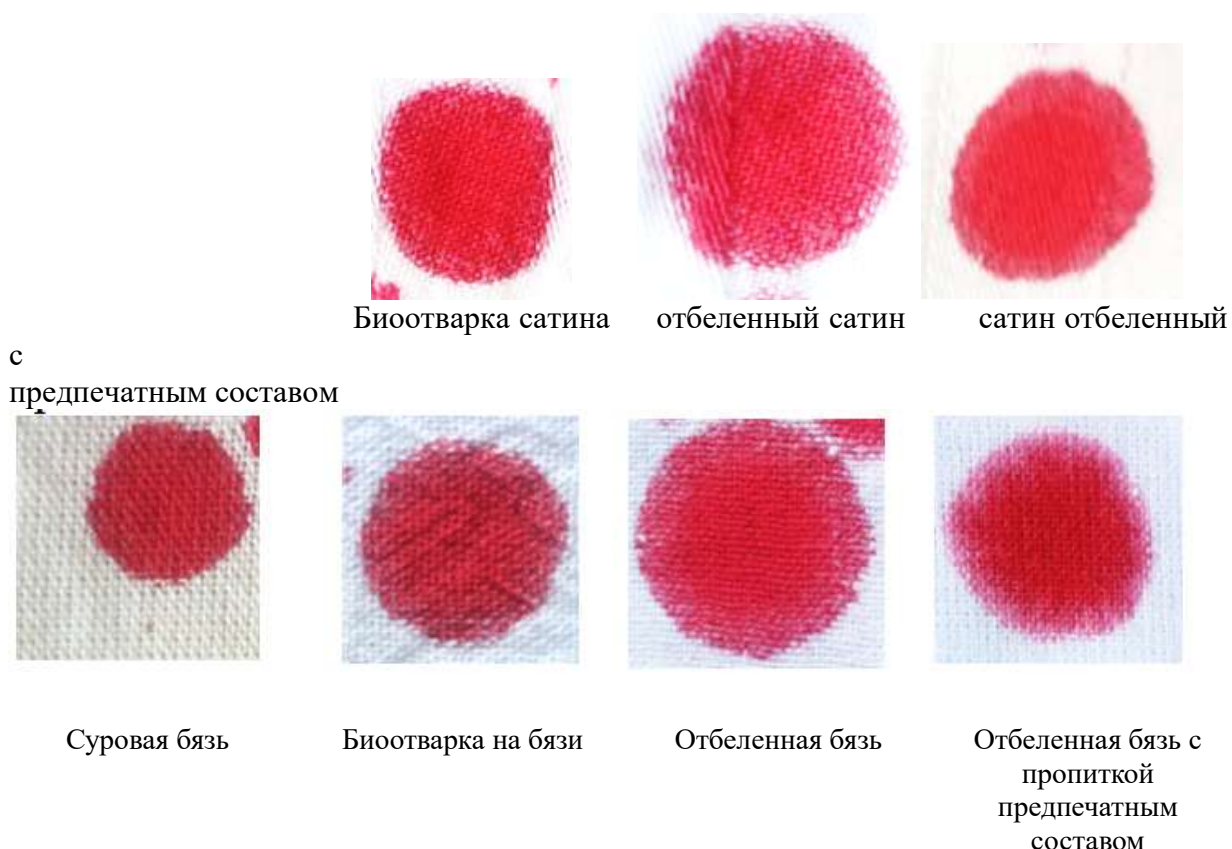
Геометрическое и оптическое приращение точек раstra увеличивает напечатанную область материала и уменьшает пробелы между каплями красителя (чернил). В результате изображение становится более тёмным, снижается его контрастность и ухудшается общее восприятие. После попадания капли на ткань капля формы полусферы разрушается под действием капиллярных сил и краситель стекает из центра в периферийные области, образуя по краю плоскости тонкий ореол (растискивание точки раstra).

Задача печатания при помощи струйной прямой печати активными чернилами состоит в исключении растекания, в обеспечении стабильности капли чернил на поверхности материала и компенсации растекания капли на этапе подготовки к печати. Это можно обеспечить путем как нанесения специальных предпечатных составов, так и создания требуемой оптимальной капиллярности и впитываемости.

Наносимые капельки чернил должны быстро смачивать текстильный материал, но при этом не растекаться по нему. Такие свойства чернил обеспечиваются определенной величиной поверхностного натяжения и вязкости. При условии что вязкость краски в условиях печати одинаковая, можно оценить влияние качества подготовки на результат растекания (растискивания) капли.

Из представленных результатов (рисунок 3.7. и таблица 3.5.) видно, что способ подготовки влияние на растекание капли и формирование зоны интенсивного окрашивания и внешнего муара. Этот бледный муар, образуемый в случае высокой капиллярности ткани (беление и ткань без пропитки) отрицательно влияет на формирование нужного цвета. Особенно этот отрицательный эффект будет проявляется на границе разных цветов, приводя к расплывчатости изображения и искажению цвета. Полученные данные позволяют предположить, что высокие капиллярные свойства ткани

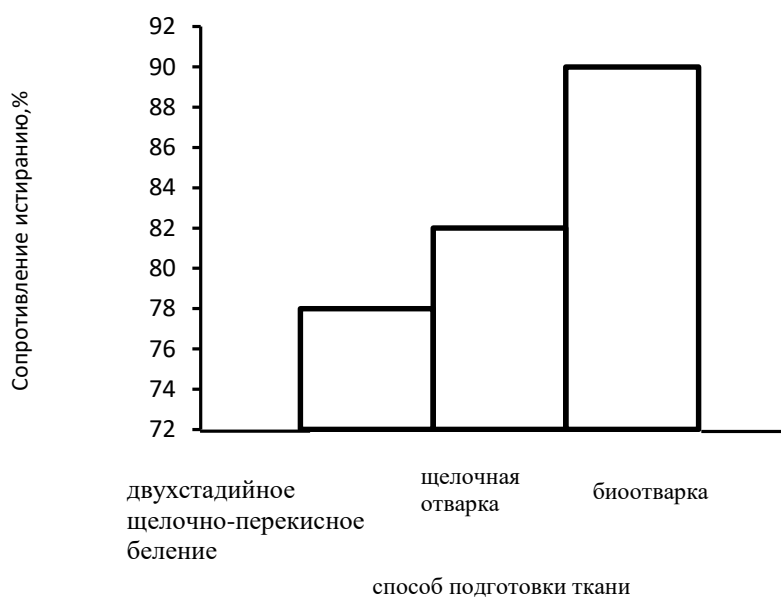
не требуются, так как при высокой капиллярности требуется на стадии пропитки предпечатным составом проводить обработку загущающим средством высокой концентрации, что не является рациональным. Необходимо оценить возможности использования технологий, обеспечивающих сохранность части гидрофобизирующих веществ. Одним из технологических решений может стать биоотварка.



**Рисунок 3.7** – Фото каплей активных чернил объёмом 0,1 мл, имитирующей каплю формируемую при цифровой печати на хлопчатобумажной ткани.

Задача печатания при помощи струйной прямой печати активными чернилами состоит в исключении растекания, в обеспечении стабильности капли чернил на поверхности материала и компенсации растекания капли на этапе подготовки к печати. Это можно обеспечить путем как нанесения специальных предпечатных составов, так и создания требуемой оптимальной капиллярности и впитываемости. Согласно рекомендациям, сформулированным специалистами производства, оптимальные значения капиллярности составляют 95–100 мм /час при впитываемости не менее 1

сек. Поэтому на первом этапе работы оценено влияние биоотварки на качественные свойства хлопчатобумажного сатина. Ниже приведены обобщающие сравнительные данные, демонстрирующие преимущества биоотварки с точки зрения сохранения массы (%) и повышения капиллярных свойств. Для цифровой печати особенно важна кинетика капиллярного впитывания. Можно видеть, что биоотварка позволяет сохранить целлюлозу и потеря массы не превышает 1%, и прочностные характеристики ткани (на разрыв) при этом обеспечивает удовлетворительную капиллярность.



**Рисунок 3.8** – Сравнение устойчивости к иcтиранию тканей после различных способов подготовки (относительно суровой ткани)

**Таблица 3.5** - Сравнение технических свойств хлопчатобумажного сатина, различного способа подготовки.

Обработка ткани	Потеря веса, %	Капиллярный подъем, мм				
		10 с	20 с	30 с	40 с	50 с
Биоотварка	1,89	20	26	28	31	35
Щелочная отварка	4,92	24	27	32	34	37
Двухстадийное щелочно-перекисное бeлeниe	6,34	35	39	44	48	59
Одностадийное бeлeниe	3,95	21	25	30	32	36

Нами показано, что биоотварка, селективно удаляя технологические загрязнения и частично сопутствующие примеси, приводит к повышению белизны, впитываемости, капиллярных свойств, мягкости (снижению жесткости).

**Таблица 3.6** - Изменение прочностных свойств хлопчатобумажной ткани (сатин) в процессе биоотварки и химических способах подготовки

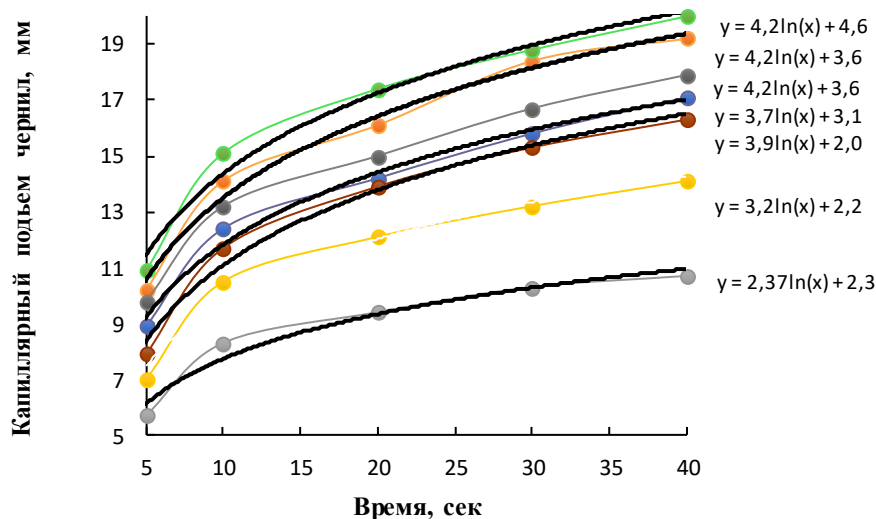
Ткань	Белизна, % ± 1,0	Прочность основы, Н	Прочность утка, Н	Удлинение, %
Контрольный (суровая ткань)	47,9	46	36	10
Биоотварка	57,1	44	35	12
Щелочная отварка	49,9	36	32	15
Двухстадийный щелочно-перекисный способ подготовки	85,2	32	31	14

**Таблица 3.7** - Сравнительные результаты щелочной отварки хлопчатобумажной бязи и биоотварки кислыми ферментами на качество подготовки

Обработка	Потеря веса (%) ± 0,1	Белизна, % ± 1,0	Смачиваемость (впитываемость, сек) ± 1,0	Капиллярность (мм) ± 2,0
Суровая хлопчатобумажная ткань, бязь	–	36,34	0,0	0
Щелочная отварка	4,61	48,5	5,0	132
Расшлихтовка амилазами	1,32	45,7	Более 30	50
Биоотварка (амилазы, пектиназы)	3,45	51,3	3,7	123

Сравнительные результаты щелочной отварки хлопчатобумажной ткани и биоотварки кислыми ферментами на качество подготовки, приведены в таблице 3.7. Контроль проводился без фермента при тех же условиях что и для ферментативной обработки. Нами показано, что удаление натуральных флавоновых пигментов, ответственных за пожелтение хлопка – сырца, эффективно достигается на стадии биоотварки и превышает уровень щелочной отварки. Так, белизна ткани после биоотварки повышается с 36 до

51 %. Это обеспечивается за счёт нарушения структуры пектиново-липидного-белкового слоя веществ к которым присоединены природные пигменты (Карапинар и Сарисик, 2004), (Абдулрахман и др., 2017) (Ли и Хардин, 1997).



**Рисунок 3.9** – Кинетика капиллярного впитывания активных чернил (мм/сек) хлопчатобумажными тканями после биоотварки с использованием композиции кислых гидролаз, где: 1– сатин, 2–диагональ, 3–молескин, 4–миткаль, 5–рогожка, 6– бязь, 7– шифон

**Таблица 3.8** - Технические свойства хлопчатобумажных тканей до и после ферментативной биоотварки и двухстадийного щелочно-перекисного беления

Ткань	Капиллярность мм/час	Капиллярность, мм/сек	Смачиваемость суровой ткани, с	Смачиваемость, с	Мягкость, % ( по углу провисания)
Миткаль			Более 60	<1	
Диагональ			Более 60	<1	
Поплин				<1	
Шифон				<1	
Бязь			Более 60	<1	
Сатин				<1	
Рогожка			Более 60	<1	
Молескин				<1	

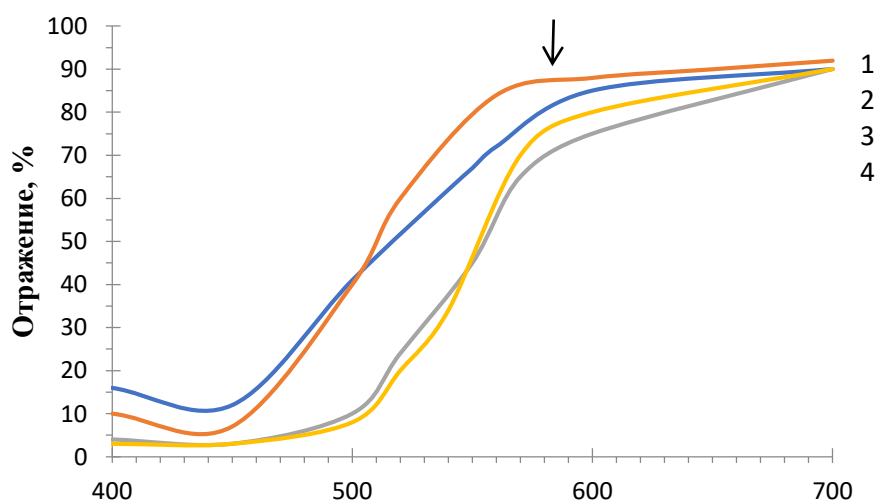
\*в числителе дроби- показатель после биообработки, в знаменателе-после беления

Деградация и растворение пектинов дестабилизируют первичную стенку и способствуют удалению гидрофобных триглицеридов и восков, что приводит к увеличению водопоглощения. Причём пектат-лиаза – это тип пектиназы, которая расщепляет гликозидные связи (тип  $\alpha$  1–4) в пектиновой кислоте и образует 4,5 – ненасыщенные продукты из невозстановительного конца посредством реакции трансэлиминации. Эти структурные изменения на поверхности хлопковых волокон выявляют больше полярных гидроксильных групп целлюлозы и повышают гидрофильность, что является важным фактором для улучшения водопоглощения подготовленных тканей, а также сорбции и фиксации активных чернил при печати (таблица 3.9.).

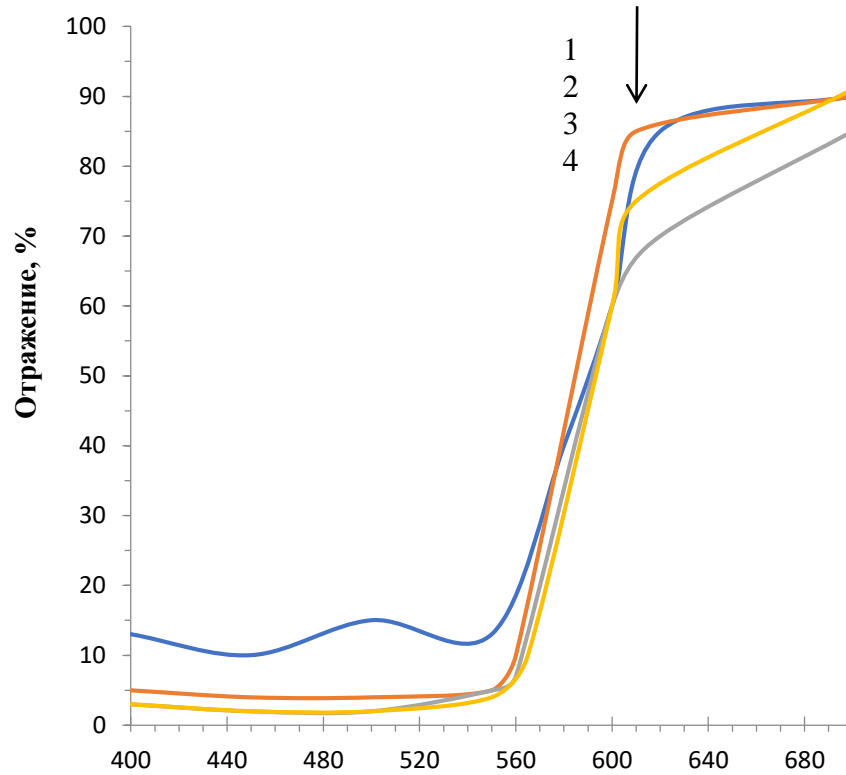
**Таблица 3.9** - Цветовые характеристики хлопчатобумажной бязи с моделированием цифровой печати (метод капли) чернилами (активным голубым).

Обработка	K/S (640 нм) $\pm 0,45$	L* $\pm 0,90$	a* (-) $\pm 0,48$	b* (-) $\pm 1,12$	C* $\pm 1,01$	h* $\pm 1,51$	$\Delta E$
Щелочная отварка, 100 °C	4,91	46,7	4,97	25,02	25,51	258,67	–
Биоотварка, 40-50° C	5,32	45,8	4,96	25,55	26,03	258,97	0,75
Одностадийное беление	3,98	41,2	-4,0	-38,2	-	-	2,99

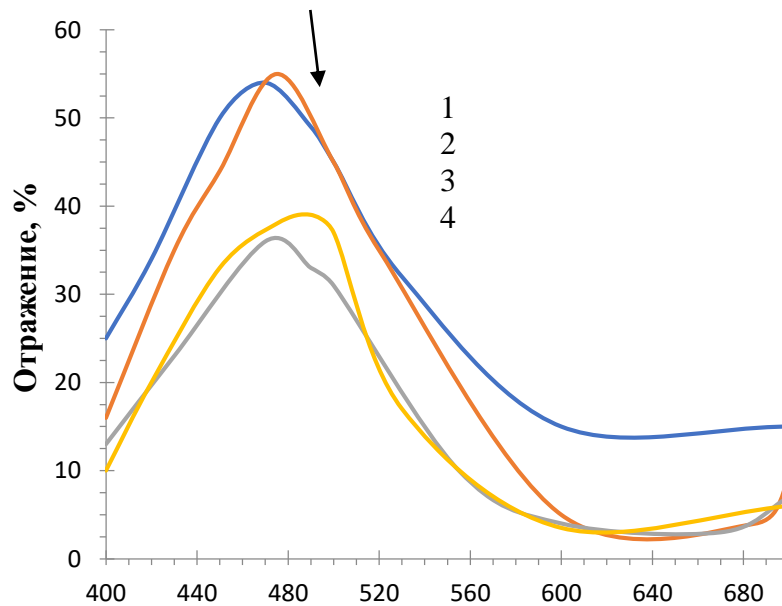
Значения представляют собой среднее значение для трех повторов  $\pm$  SD (стандартное отклонение). Одинаковые признаки вне 5%.



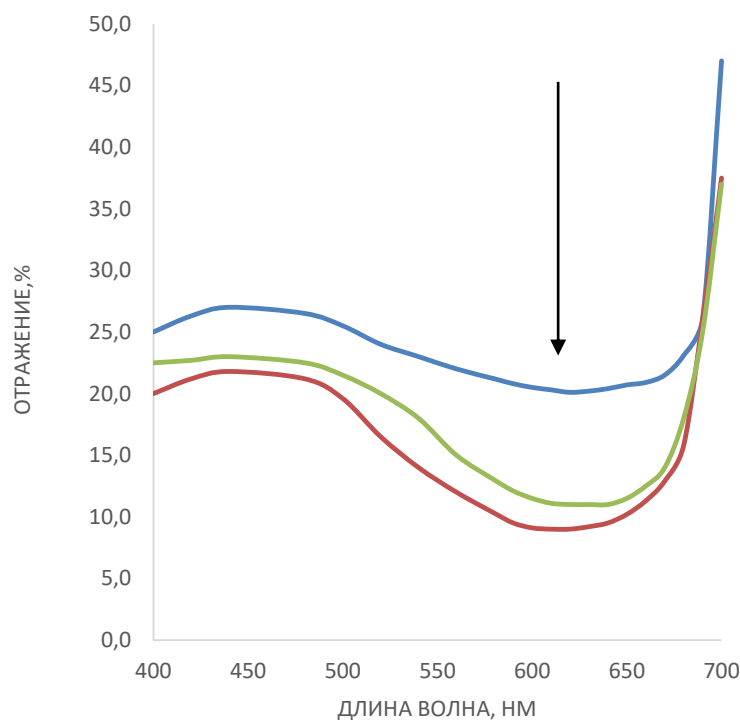
**Рисунок 3.10** – Спектры отражения хлопчатобумажного сатина, различных способов подготовки с печатью (капельный метод) активными чернилами Orange Kiiian Digital (где 1-двухстадийное беление, 2- печать пигментами, 3- расшлихтовка и одностадийное беление, 4- биоотварка).



**Рисунок 3.11** – Спектры отражения хлопчатобумажного сатина, различных способов подготовки с печатью (капельный метод) активными чернилами Yellow.



**Рисунок 3.12** – Спектры отражения хлопчатобумажной сатин, различных способов подготовки с печатью (капельный метод) активными чернилами Суап.



**Рисунок 3.13** – Спектры отражения хлопчатобумажного текстиля, различных способов подготовки, с цифровой печатью активными чернилами RCS Kiian Digital (Италия) Blue (Китай) (капельное моделирование процесса): 1-контрольный образец, подготовленный по двухстадийной технологии щелочно-перекисного беления с предварительной щелочной отваркой; 2 - расшлихтовка и одностадийное беление, 3-биоотварка.

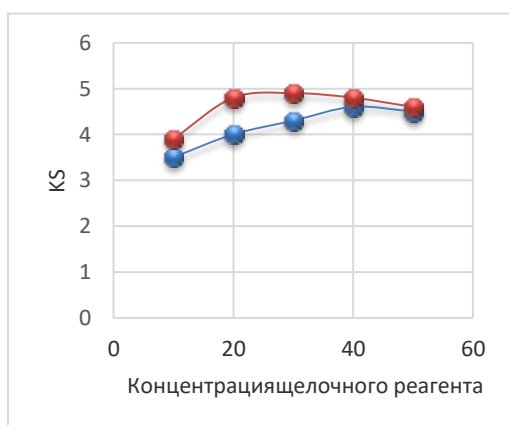
На примере спектральных кривых для 2 различных активных чернил видно, что способ подготовки влияет не только на интенсивность цвета капли, но и положение характеристического максимума. Можно отметить, что при подготовке путем щелочной отварки наблюдается смещение максимума в коротковолновую область, что видимо связано и расстеканием полифенолов лигнина «галочки» по текстильному материалу в результате перевода в растворимую форму, а также модификацией красящих веществ хлопка в щелочной среде.

Таким образом, текстильный материал после биоотварки приобретает требуемую капиллярность, ограниченную впитываемость, сохраняет высокие прочностные свойства и истираемость, но не приобретает белизну, что сказывается на цветообразовании в результате последующей цифровой печати. Каким образом это свойство, а именно сохранение природных

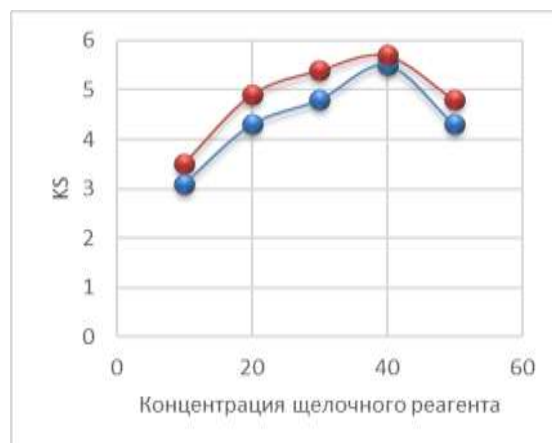
красителей на хлопчатобумажной ткани скажется на цветовых характеристиках будет рассмотрено в следующем разделе работы.

### 3.4. Оптимизация условий цифровой печати на стадии предподготовки

Известны работы, направленные на исследование влияния катионизирующих препаратов в предпечатный состав на интенсивность печатного рисунка и степень его фиксации. «Авторами показано» [88], что применение катионных препаратов Гидрокол О, Верификс ТЗ в концентрации 30 г/л позволяет увеличить фиксацию красителей на 12–20 %. Однако, катионизирующие препараты также вводятся в состав чернил. Поэтому в настоящей части работы было оценено влияние многофакторности подхода, а именно способа подготовки хлопчатобумажной бязи и предпечатного состава на эффективность цифровой печати.



а- NaHCO<sub>3</sub>



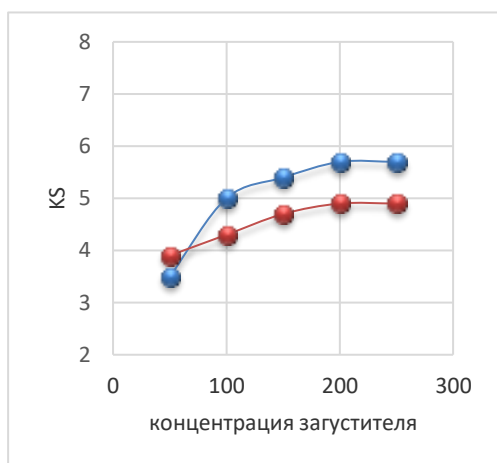
б- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

**Рисунок 3.14** – Влияние концентрации щелочного реагента в составе предпечатного раствора на результат цвета (показатель K/S) по отбеленной хлопчатобумажной бязи : а- Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> б- NaHCO<sub>3</sub> для, где 1- для красных чернил ,2-для синих чернил (количество загустителя 200г, концентрация мочевины 50 г/л).

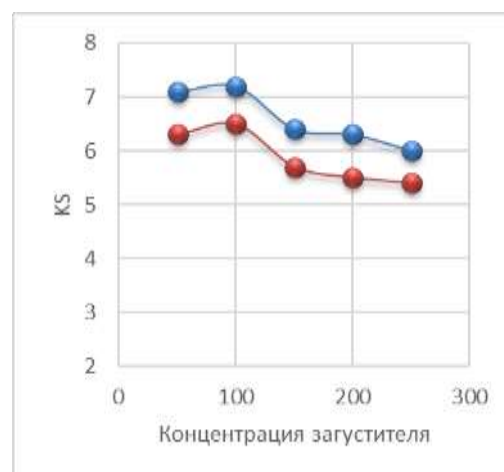
В качестве щелочного реагента, вводимого для обеспечения протекания реакции ковалентного связывания активного красителя и целлюлозы по известной реакции рекомендуется вводить в г/л: NaHCO<sub>3</sub> – 20 г/л, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 40 г/л или их вместе NaHCO<sub>3</sub>–15 г/л + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 25 г/л.

На первом этапе эксперимента печать оценено влияние концентрации щелочного реагента на показатель интенсивности цвета, выражаемый как функция  $K/S$  (Функция Кубелки -Мунка). Нанесение предпечатного состава производили в лабораторных условиях, цифровая печать -капельным способом с применением промышленных чернил. Предпечатный состав наносили методом пропитки при температуре 20 °С с последующим отжимом на лабораторной установке и сушкой в сушильном шкафу при 100°С.

Печать с нанесенным локально печатным составом с различной концентрацией щелочных реагентов производили на хлопчатобумажном сатине поверхностной плотности 119 г/м<sup>2</sup>. Из рисунка 3.14. наглядно видно преимущество по интенсивности цвета при печати для биообработанной ткани в отличие от печати на ткани после двухстадиного щелочно-перекисного беления. Это связано не только с тем, что сохраняется природно желтоватая окраска ткани, так как беления нет, но и за счёт меньшего растекания капли чернил.



а-отбеленная ткань



б-ткань биоотварка

**Рисунок 3.15** – Влияние количества загустителя в составе предпечатной композиции на результат цифровой печати по отбеленной (а) и биоотваренной (б) хлопчатобумажной бязи (показатель  $K/S$ ), где щелочной реагент  $\text{NaHCO}_3$  30 г/л, для красных чернил (1), 2-синих чернил (2).

То есть на участке площади концентрация красителя при биообработке выше, чем на отбеленной ткани. Это связано с капиллярными явлениями, что будет рассмотрено далее. Причем биоотварка позволяет снизить

концентрацию загустителя до 50г/л. При большей концентрация загустителя видимо отрицательно влияет на диффузию красителя и связывание с целлюлозой. Таким образом, состав для предпечати должен содержать: не варьируемые нами компоненты: Мочевина–100 г/л, Лудигол– 5 г/л, а также в г/л:  $\text{NaHCO}_3$  – 30 г/л , загуститель альгинат натрия 50–г/л

**Таблица 3.10** – Влияние способа подготовки на диаметр растекания капли активных чернил.

Образец	Способ подготовка	активный черный RCS Black	Активный оранжевый RCS Orange
Сатин	1	13	14
	2	18	15
Молескин	1	7	6
	2	10	8
Диагональ	1	15	8
	2	14	10
Бязь люкс	1	18	15
	2	18	10
Шифон	1	18	11
	2	21	16
Бязь п15	1	14	11
	2	18	14
Рогожка	1	6	12
	2	15	10
Миткаль	1	10	12
	2	16	15
Бязь п13	1	17	11
	2	18	14

1-биоотварка на эжекторе, 2-щелочно-перекисное двухстадийное беление на ЛОБ,

Анализируя данные таблицы 3.10. можно отметить, что ткани, прошедшие биоотварку, не всегда позволяют получить существенно меньшее растискивание капли чернил. Наиболее эффективно использование такой обработки по сравнению с традиционными щелочно-перекисной подготовкой и белением для таких текстильных материалов, как бязи, рогожка, молескин, сатин. Тяжелые ткани, такие как диагональ, и бязи не имеют принципиального отличия.

**Таблица 3.11** - Сравнительные результаты цветовых характеристик и устойчивости окраски к трению на хлопчатобумажных тканях различных структур (RCS Black).

Образец	Технология подготовки	L	a +краснее/ -зеленее	b +желтее / -синее	ΔE	Устойчивость к трению	
						Сухому	Мокрому
Сатин	1*	15,7	-0,6	-9,2	5,5	5/5	5/4
	2*	17,2	0,0	-10,4	6,9	5/4	3/4
Молескин	1	1,6	0,4	-5,8	14,1	5/4	5/4
	2	10,6	1,2	-12,1	9,8	5/4	4/4
Диагональ	1	12,9	-0,2	-9,2	6,1	5/5	5/4
	2	17,7	-0,3	-9,0	5,7	5/4	3/4
Бязь люкс	1	8,0	0,2	-9,6	9,5	5/4	5/4
	2	27,1	-0,9	-8,6	12,6	5/4	5/4
Шифон	1	16,7	-0,7	-9,1	5,6	5/5	5/4
	2	19,5	-0,1	-10,2	7,6	3/4	3/4
Бязь п15	1	6,1	0,8	-11,7	12,4	5/5	5/4
	2	6,4	-0,7	-9,0	10,6	5/4	3/4
Рогожка	1	4,7	1,1	-7,7	11,6	5/4	5/4
	2	14,4	0,1	-10,5	6,9	5/4	3/4
Миткаль	1	2,2	-0,6	-5,5	13,4	5/5	5/4
	2	3,9	0,5	-8,2	12,5	5/4	3/4
Бязь п13	1	19,2	-2,4	-7,4	5,8	5/5	5/4
	2	20,0	-0,1	-10,2	7,9	3/4	3/4
Образцы без предварительной пропитки	1	37,3	6,3	5,0	24,5	3/2	3/4
	2	42,1	3,4	-6,5	27,0	2/3	2/2
Образец для сравнения, промышленная печать**	-	15,5	0,0	-3,7	0	5/5	5/5

\*1-биоотварка на эжекторе, 2-щелочно-перекисное двухстадийное беление на ЛОБ;\*\*Напечатанный образец на промышленном плоттере.

Исследования, проведенные при использовании для цифровой печати по текстильным материалам чернил красителя RCS Orange, подтвердили ранее полученные результаты для чернил красителя RCS Black, в этом случае происходит увеличение интенсивности окраски для образцов, обработанных методом биоотварки. При этом светлота L узорчатой расцветки снижается в

некоторых случаях снижается до 80%. Вместе с тем устойчивость окрасок к мокрому трению возрастает и соответствует требованиям нормативно-технической документации. Необходимо отметить более низкую устойчивость узорчатых расцветок тканей, обработанных по традиционному щелочно-перекисному способу, к мокрому трению.

Качество, напечатанных текстильных материалов для любого вида печати, определяется также интенсивностью получаемой узорчатой расцветки и показателями устойчивости окрасок к мокрому и сухому трению. В таблице 3.6. приведены данные, показывающие колористические показатели узорчатых расцветок, полученных методом цифровой печати на различных текстильных материалах с использованием активного красителя RCS Black. Показано, что светлота L окраски образцов при использовании хлопчатобумажных тканей различного переплетения убывает в зависимости от используемого текстильного материала максимально на 206 % для рогожки и минимально на 4,9 % для бязи П15, таким образом, биоотварка способствует повышению интенсивности окраски текстильных материалов при цифровой печати. Сравнение устойчивости получаемых окрасок напечатанных образцов позволяет для данного красителя также рекомендовать подготовку методом биоотварки.

Нами установлено, что способ подготовки влияет не только на образуемый цвет, но и на устойчивость формируемого печатного рисунка к физико-техническим воздействиям (таблицы 3.11-3.12). Предполагаем, что биоотработка способствует полному удалению крахмала шпиксы с ткани и частично удаляя гидрофобные сопутствующие вещества хлопкового волокна обеспечивает на поверхности волокон сохранение части нативных восков. В процессе печатания, нагретая капля чернил соприкасается с поверхностью волокон ткани, которая также нагревается. Видимо происходит расплавление восков с обеспечением проникания красителя в структуру целлюлозы и последующим «ламинированием» красителя при охлаждении ткани. Не исключаются процессы возможные при нагреве текстильного материала после

печати, когда расплавленные остаточные воски хлопка, сохраненные на поверхности волокна взаимодействуют с щелочными компонентами праймера. Это может приводить к омылению восков и соответственно увеличению диффузии красителя чернил в структуру волокна и повышению реакционной способности целлюлозы в целом.

**Таблица 3.12** - Сравнительные результаты цветовых характеристик и устойчивости окраски печати активными чернилами на хлопчатобумажных тканях различных структур (RCS Orange).

Образец	Технология подготовки	L, %	a +краснее/ -зеленее	b +желтее/ -синее	$\Delta E$	Устойчивость к трению*	
						сухому	мокрому
Сатин	1*	17,9	39,2	27,6	3,3	5/5***	4/5
	2*	33,5	51,9	47,0	1,8	4/3	4/3
Молескин	1	27,6	50,5	40,7	2,1	5/4	4/3
	2	28,0	48,5	40,9	2,0	4/3	4/3
Диагональ	1	28,6	51,5	41,9	2,0	5/4	4/5
	2	29,5	49,1	41,0	1,9	4/3	3/3
Поплин	1	22,5	44,5	34,0	2,6	5/5	4/5
	2	27,9	50,7	41,0	2,1	4/3	4/3
Шифон	1	32,5	54,0	46,3	1,9	5/4	4/5
	2	37,3	53,8	50,6	1,6	4/3	3/3
Ситец	1	28,1	51,0	41,3	2,2	5/4	4/5
	2	28,8	51,8	42,1	2,9	4/3	4/3
Бязь	1	28,9	50,4	42,2	2,1	5/4	4/3
	2	31,8	54,4	42,8	2,0	4/3	4/3
Рогожка	1	23,7	45,9	35,6	2,5	5/4	4/5
	2	34,1	52,3	46,3	1,6	4/3	3/3
Бязь без предварительной пропитки	1	54,5	25,4	32,1	23,5	3/2	3/1
	2	46,1	22,5	18,2	34,3	2/3	2/1
Бязь классическая печать **	-	44,0	38,8	48,3	0	5/5	4/5

\*1-биоотварка, 2-двухстадийное щелочно-перекисное беление, \*\*Образец сравнения – бязь с печатным рисунком заданного цвета (цифровой аналог) на ротационной печатной машине с сетчатыми шаблонами.

\*\*\*- в числителе дроби степень посветления первоначальной окраски ткани, в знаменателе- степень закрашивания белых материалов, прошедших испытание вместе с окрашенным.

Таким образом, проведено моделирование цифровой печати активными чернилами на тканях различной подготовки (биоотварка или щелочно-перекисное беление) путем получения капельного рисунка. Установлено, что снижение капиллярности, а также впитываемости ткани за счёт исключения

стадии беления из технологической цепочки подготовки и использования биоотварки позволяет создать оптимальные условия формирования капли чернил, исключения её растекания на текстильном материале. Печать продолжена на производстве ОАО «Самойловский текстиль» на цифровом плоттере Mimaki MS JPK активными чернилами RCS (cyan, magenta, yellow, black, blue, red) в 4 прохода (DPD 7) Паттерн орнамента разработан в формате tif.

**Таблица 3.13** - Цветовые характеристики хлопчатобумажных тканей различных способов подготовки с печатью активными чернилами RCS Orange полученной в условиях производства на текстильном плоттере.

	Обработка (Суровая/биообработка/ беление)	L	a +красне е/- зеленее	b +желтее/ -синее	Впитываем ость, сек.	Степень фиксации красителя, %
Сатин						
1	Одностадийное беление	35,0	51,4	38,3	3	93,5
2	Двухстадийное беление	34,9	52,3	39,5	менее 1	95,9
3	Расшлихтовка амилазами Расшлихтовка/беление	37,3	53,8	50,6	8	88,1
		41,1	42,7	50,4	1	94,3
4	Биоотварка *	36,5	43,6	48,6	3	95,5
5	Биополировка*	38,6	54,4	51,7	2	96,2
Поплин						
6	Одностадийное беление	34,0	46,0	43,5	6	93,2
7	Двухстадийное беление	33,8	48,9	45,1	менее 1	96,1
8	Расшлихтовка амилазами Расшлихтовка/беление	37,1	43,9	48,3	10	86,2
		42,5	51,8	48,8	3	94,3
9	Биоотварка	34,1	43,3	44,5	4	94,9
10	Биополировка	40,3	50,9	49,3	3	96,2

\*биоотварка: состав - кислые низкотемпературные амилаза 1 г/л и пектиназа 1 г/л (ООО Биопрепарат)

\* биополировка: состав - кислые низкотемпературные амилаза 1 г/л и пектиназа 1 г/л, целлюлаза 1 г/л (ООО Биопрепарат).

На основе сравнительной оценки цветового различия и цветовых характеристик по системе (CIElab) печатного рисунка, полученного на хлопчатобумажных тканях различных артикулов, показано, что использование операции подготовки текстильного материала путем

низкотемпературной биоотварки с применением кислых амилаз и пектиназ обеспечивает получение печатного рисунка с большим цветовым различием ( $\Delta E$ ) в сравнении с печатью на печатной машине с сетчатыми валами. Формируемая окраска имеет более интенсивный цвет за счёт минимизации растекания капли чернил, сохранения природной окраски хлопкового волокна и фиксации активного красителя на целлюлозной ткани.

### **3.5. Разработка состава для предварительной предпечатной обработки целлюлозной ткани**

В настоящее время значимость приобретают вопросы экологического обеспечения действующих производств – экологическая направленность. Особенно важно это для отделочного производства текстильной промышленности, стоки которого содержат красящие вещества. С целью снижения негативного влияния на биосферу необходимо разрабатывать технологии, обеспечивающие сокращение стадийности, расхода технологической воды, высокую степень фиксации красителей на текстильном материале в процессе колорирования.

Формирование устойчивой окраски текстиля напрямую зависит как от свойств используемых красителей, так и от выбранной технологии их нанесения на волокнистый материал. Функция предварительной обработки поверхности ткани в случае цифровой печати заключается в том, чтобы зафиксировать каплю чернил, нанесённую на текстильный материал, и предотвратить её растекание. «Для повышения степени фиксации активных красителей на волокне и предотвращения растискивания капли при печати применяются методы предподготовки с нанесением специального загущающего состава и методы катионизации поверхности ткани» [117-120].

Катионизация целлюлозных материалов является одним из вариантов предварительной обработки, которая вводит положительный заряд на её поверхность, улучшая её доступность для молекул, содержащих анионные группы, или функционализации, направленной на применение. Метод

катионизации позволяет усилить ионные взаимодействия с анионными группами красителя (такими как сульфатные, карбоксильные или фенольные группы), уменьшая зависимость процесса печати от дополнительных химических вспомогательных веществ. Поскольку гидроксильные группы целлюлозы, участвующие в этих связях, обладают низкой или средней нуклеофильностью, то это ограничивает её реакционную способность.

«Катионизация целлюлозного волокна наиболее эффективна по отношению к активным красителям, содержащим в своем составе реакционные группы, способные образовывать с активными группами волокна ковалентные связи» [121-124]. Для повышения степени фиксации активных чернил на текстильном материале опробован ряд препаратов катионного типа с различной структурой молекул для катионизации целлюлозного текстильного материала: поверхностно-активные вещества и полидиаллилдиметиламмоний хлорид, которые были предоставлены - ЗАО «Каустик» г. Стерлитамак, ООО «Химсинтез» г. Дзержинск и ООО «ТТОС» г. Долгопрудный. В качестве катионных ПАВ использовали кватамин КМ-15, кватамин КМ-10, бетамины с различной степенью оксиэтилирования, алкапавы и катапав, а также опробованы амфолитные поверхностно-активные вещества Оксамин – оксид КМ-7, ОКМ – 15. Для сравнения в состав вводили анионоактивное ПАВ Инкор-11.

Для выявления возможности интенсификации процесса цифровой печати использовали капельный метод нанесения модельных растворов чернил на основе активного голубого 2КТ и других активных красителей (состав приведен в 1 части литературного обзора). В качестве загустителя пропиточного состава был опробован ранее приведенный состав на основе альгинат натрия (пониженная концентрация загустителя, глава 3.4). Для сравнения результаты печати использовали как отбеленную, так и ферментативно обработанную ткань (биоотваренную).

При прототипировании такой технологии важно знать возможное изменение оттенка полученных цифровых отпечатков. Оценка цветовых

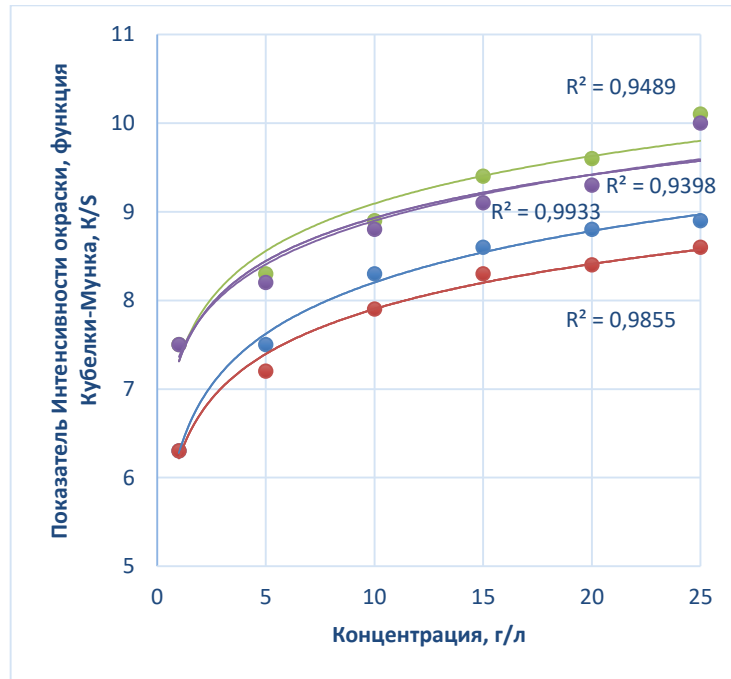
характеристик, представленных в таблице 3.14. выявляет влияние катионизации на изменение оттенка печатного рисунка. Каустамин не дает значительных изменений оттенка по сравнению с контрольным образцом (без катионизации), а ПДАДАХ приводит к покраснению и посинению цвета. Такое изменение оттенка нежелательно, так как может привести к искажению цвета орнамента, что не позволяет дать гарантию получения точного цвета и делает технологию, не воспроизводимой по эталонным цветам. Светлота снижается в обоих случаях.

**Таблица 3.14** - Колористические показатели окрасок печати (капельный метод) при использовании модельного состава чернил на основе активного голубого 2КТ.

ПАВ	Концентрация катионного препарата	a (- зеленее,+ краснее)	b (- синее,+желтее)	Светлота L,%
		( печать без катионизации)		
Каустамин 15	5 г/л	-7,31	-32,33	46,72
	15г/л	-6,92	-29,85	44,84
	20г/л	-5,25	-31,67	42,32
ПДАДАХ	5г/л	-4,50	-35,19	45,91
	15г/л	-4,58	-35,20	44,04
	20г/л	-5,00	-35,73	43,50

На рисунке 3.16 представлены зависимости функции Кубелка-Мунка (интенсивность окраски), полученных измерением коэффициента отражения при характеристической длине волны от способа подготовки и катионирующего препарата. Печатный рисунок моделировался капельным методом (моделирование цифровой печати). Из представленных зависимостей видны более высокие показатели интенсивности цвета на тканях подвергнутых предварительной биообработке. Это связано, не только с сохранением природного красителя и суммарного эффекта от

действия синтетического активного красителя при печати, но и возможно с протеканием реакций с остаточными сопутствующими веществами, сохраненными после биовоздействия. Нельзя исключать возможность поверхностных взаимодействий и с самой целлюлозой, которая в отличие от отбеленной является нативной.



**Рисунок 3.16** – Влияние концентрации катионизирующего препарата в составе предпечатного раствора на интенсивности окраски печати модельным раствором активных чернил (активного голубого 2КТ): 1,2-на биотваренном сатине, 3,4- на отбеленном сатине, где 1,3- Каустомин 15; 2,4- ПДАДАХ.

Можно видеть, что интенсивность окраски, характеризуемая показателем K/S, возрастает по мере увеличения концентрации катионного полиэлектролита в составе. При этом максимальное значение интенсивности окраски достигается на отбеленной ткани при введении в состав предпечатной композиции Каустамина в количестве 20 г/л. На биотваренной ткани эффект наблюдается при концентрации 5-10 г/л. С учётом наблюдаемых изменений оттенка при катионизации и роста интенсивности окраски предпочтительнее использование Каустамина 15, который дает изменение только по светлоте без существенного изменения в оттенке. Также получены сравнительно высокие устойчивости печатног

цифрового рисунка к физико-механическим воздействиям (таблица 3.15). Это является косвенной оценкой сравнительно высокой степени фиксации красителя на текстильном материале.

Определены устойчивость к мокрым обработкам и сухому трению на хлопчатобумажном сатине, различных способов подготовки, модифицированном синтетическими полиэлектролитами (таблица 3.9). Установлено, что устойчивость получаемых окрасок, соответствует нормативно-технической документации на биообработанных тканях только при низких концентрациях Каустамина 15 (5 г/л).





**Таблица 3.15** - Влияние катионизации на устойчивость окрасок печати к мокрым обработкам и сухому трению при использовании чернил на основе красителя активного голубого 2КТ

Концентрация катионного препарата	Устойчивость окрасок , балл		
	стирке №1	поту	сухому трению
Без катионизации	4/4/5	4/4/4	4/5
<b>Биоотваренный сатин</b>			
Каустамин 15,5г/л	4/4/5	4/4/4	4/5
Каустамин 15, 15г/л	4/3/4	3/3/4	4/3
Каустамин 15, 20г/л	4/3/4	3/4/4	4/3
<b>Отбеленный сатин ( двухстадийная технология)</b>			
Каустамин 15,5г/л	4/4/4	3/4/4	4/4
Каустамин 15, 15г/л	4/3/4	3/3/4	4/3
Каустамин 15, 20г/л	4/3/4	3/3/4	4/3

Проведены исследования и анализ эффективности применения катионных полиэлектролитов (КПЭ) в составе для предпечатной обработки совместно с акриловыми полимерами. Из работ Козловой О.В. кафедры ХТВМ ИГХТУ показана низкая эффективность использования в предпечатных составах полиуретанов. Из проведённого диссертатном эксперимента выявлено, что пропиточный состав с акрилатами (Рузинами) существенно не повышает показатели интенсивности окраски. Однако отмечено повышение устойчивости окраски к физико-механическим

воздействиям. Предполагаем, что акрилаты на стадии постпечатной сушки и фиксации как бы ламируют поверхность ткани. Технические результаты окраски печатного рисунка (капельный метод) на сатине, модифицированного различными катионными препаратами и с введением полимеров в предпечатный состав, по интенсивности получаемых окрасок, прочности к трению и мокрым обработкам, приведены в таблице.

**Таблица 3.16** - Колористические показатели окрасок модифицированных отбеленных сатинов при использовании модельных чернил на основе активного бирюзового 23Т

Пропиточный состав	образец	Цветовые характеристики			
		K/S	A (- зеленее)	B (-синее)	L,% Светлота
Без катионизации, Отбеленный сатин		2,85	-23,8	-22,8	81,0
Каустамин 15 (5 г/л), отбеленный сатин		5,91	-24,6	-24,8	60,4
Каустамин 15 (1:1 с Н <sub>2</sub> О) Рузин14, отбеленный сатин		5,92	-24,8	-22,6	61,1
Каустамин 15+ (1:1 с Н <sub>2</sub> О) Рузин14. Биоотваренный сатин		6,01	-25,1	-25,0	60,2

Введение полимера в пропиточный состав позволяет повысить прочностные характеристики, напечатанных образцов до требований нормативно-технической документации как на отбеленном сатине, так и на биоотваренном (таблица 3.17.).

На следующем этапе эксперимента в состав пропиточной композиции вводились катионные поверхностно-активные вещества различной химической природы в концентрации 1 г/л. Из работ, проводимых на кафедре ХТВМ ИГХТУ известно, что бетамин КМ-5 и бетамин КМ-10 не дают изменений в качестве печати, поэтому в работе они не использовались. Анализ результатов, полученных при фиксации обработанных и напечатанных сатинов (капельный метод) по запарному способу винилсульфоновым красителем активным красно-фиолетовым 2КТ,

показывает, что большинство изучаемых ПАВ обеспечивает увеличение интенсивности окрасок напечатанных образцов.

**Таблица 3.17** - Влияние предпечатного состава на технические результаты печати активным бирюзовым 23Т.

Рецептура	Устойчивость окрасок, балл		
	Стирке №1	поту	Сухому трению
Без предпечатной пропитки, отбеленный сатин	4/4/4	4/4/4	5/4
Каустамин 15, отбеленный сатин	4/3/4	4/4/3	4/4
Каустамин 15, (1:1 с H <sub>2</sub> O Рузин14 и, отбеленный сатин	4/4/4	4/4/4	4/4
Каустамин 15, (1:1 с H <sub>2</sub> O, Рузин14 и) Биоотварка сатина	4/4/4	4/4/4	4/4

Показано, что высокую степень интенсификации процесса печатания хлопчатобумажных сатинов (при использовании модельного капельного способа) дают такие препараты как кватамин КМ-5 и алкапавы. При этом интенсивность полученных узорчатых расцветок возрастает на более чем на 41 %. Максимальное изменение интенсивности окраски тканей наблюдается для образцов, пропитанных Катапав составляет 72,7%.

**Таблица 3.18** - Влияние катионных ПАВ на технические результаты печатания хлопчатобумажного миткаля арт.43 активным красно-фиолетовым 2КТ

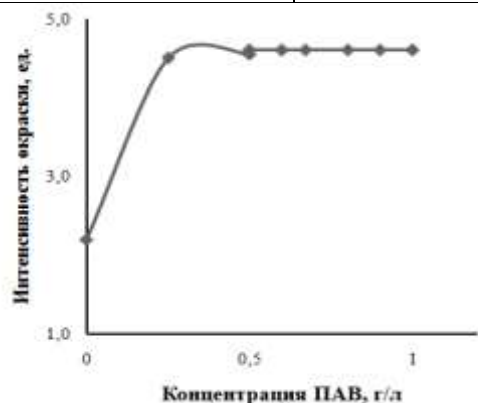
Наименование ПАВ	Интенсивность окраски тканей, К/С, ед.	Изменение интенсивности окраски Δ К/С, %	Устойчивость окрасок, балл к	
			Стирке №1	поту
Без катионизации	2,19	-	4/4/4	4/4/4
Кватамин КМ-5	3,1	40,9	4/4/4	4/4/4
Кватамин КМ-10	2,8	27,3	4/4/4	4/4/4
Катапав	3,8	72,7	4/4/4	4/4/4
Алкапав 16.30	3,6	72,7	4/4/4	4/4/4
Алкапав 16.С50	3,6	63,6	4/4/4	4/4/4

Изучено влияния анионоактивных и амфолитных ПАВ в концентрации 1г/л на качество печати на хлопчатобумажном сатине (таблица 3.18.). Установлено, что значительное повышение интенсивности окрасок хлопчатобумажных тканей достигается при введении в печатный состав амфолитного поверхностно-активного вещества – Оксамин оксида КМ-7. В

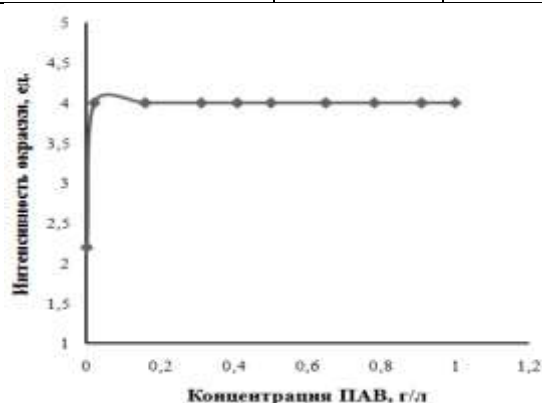
этом случае интенсивность окраски текстильного материала увеличивается в 2 раза по сравнению с исходным напечатанным образцом. С помощью другого амфолитного ПАВ ОКМ-15 значение  $\Delta K/S$  возрастает на 82 %. Примером анионоактивных препаратов является инкор-11, введение его в печатный состав улучшает технические результаты узорчатой расцветки текстильного материала на 46%. Прирост интенсивностей окраски тканей различен и определяется не только природой интенсифицирующего реагента, но и его концентрацией в печатном составе. В связи с этим, оценено влияние концентрации ПАВ различной природы на колористические показатели образцов напечатанных активным красно-коричневым 2КТ. Результаты исследования представлены на рисунках 3.17-3.20. При введении в предпечатный состав изучаемых поверхностно-активных веществ в концентрациях от 0,3 до 2,0 г/л наблюдается увеличение интенсивности окрасок напечатанных образцов.

**Таблица 3.19** - Влияние анионных и амфолитных ПАВ на технические результаты печатания хлопчатобумажных тканей арт. 43 активным красно-фиолетовым 2 КТ

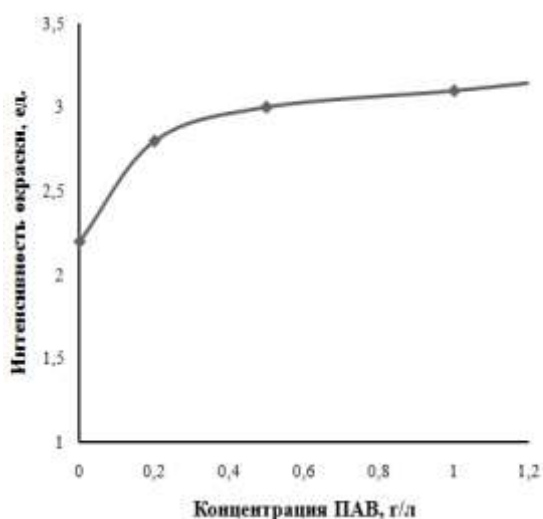
Наименование ПАВ	Интенсивность окраски тканей, K/S, ед.	Изменение интенсивности окраски $\Delta K/S$ , %	Устойчивость окрасок, балл к	
			Стирке №1	поту
-	2,19	-	4/4/4	4/4/4
ООКМ-7	4,0	82,6	4/4/4	4/4/4
ОКМ-15	3,9	78,8	4/4/4	4/4/4
Инкор-11	2,3	4,5	4/4/4	4/4/4



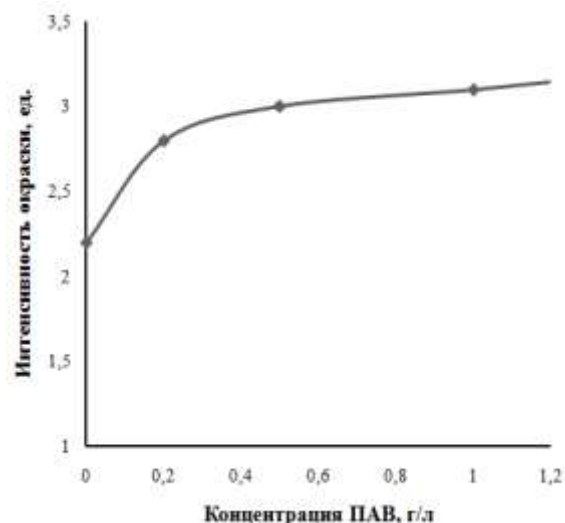
**Рисунок 3.17** — Зависимость интенсивности окраски текстильных материалов красно-коричневым 2КТ от содержания кватерниарного ПАВ КМ-10 в предпечатном составе



**Рисунок 3.18** – Зависимость интенсивности окраски текстильных материалов красно-коричневым 2КТ от содержания ООКМ-7 в предпечатном составе

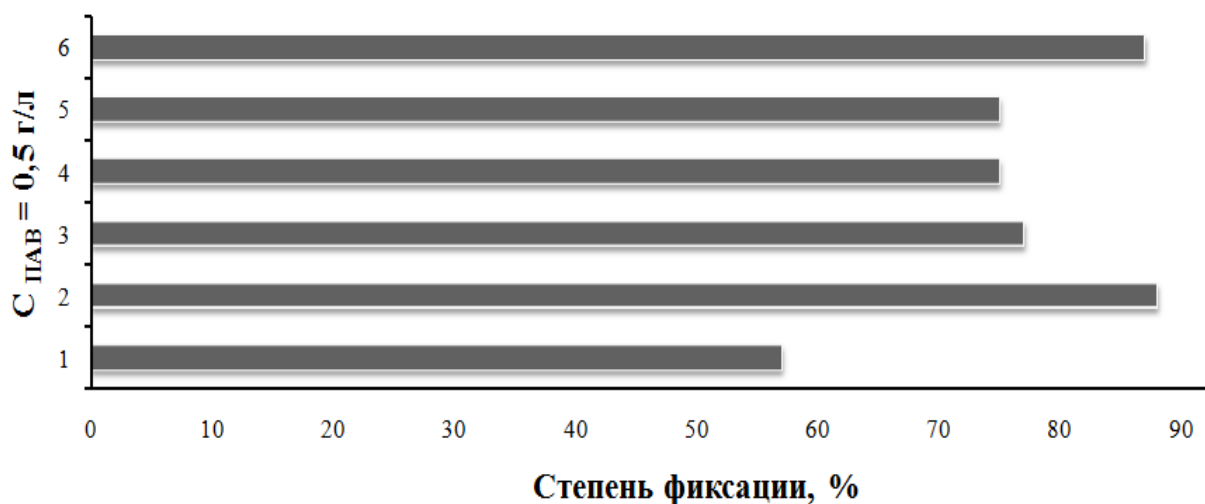


**Рисунок 3.19** – Зависимость интенсивности окраски текстильных материалов от содержания инкор-11 в печатном составе

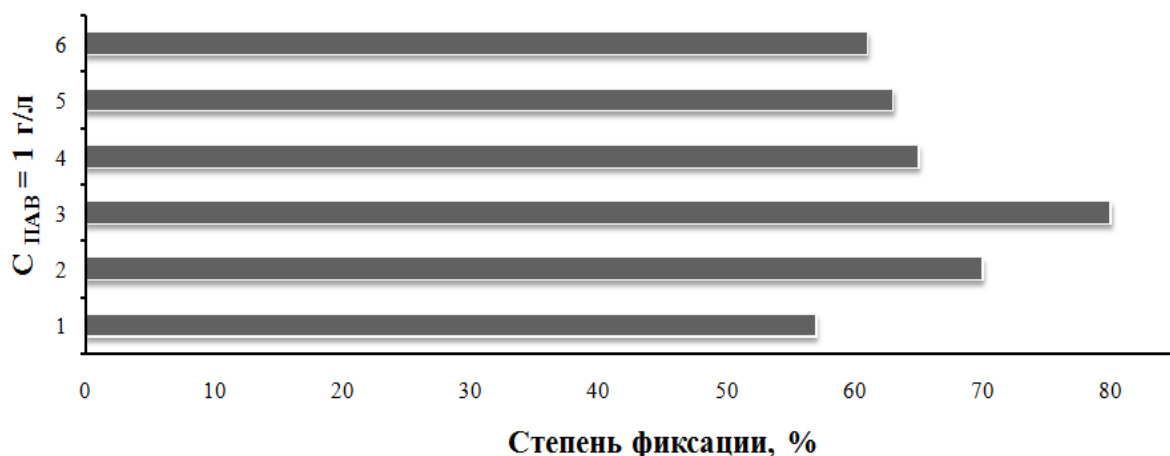


**Рисунок 3.20** – Зависимость интенсивности окраски текстильных материалов от содержания оксамин КМ-15 в печатном составе

Увеличение интенсивности окраски текстильных материалов в присутствии изучаемых ПАВ может характеризовать повышение степени полезного использования активного красителя в процессе печатания. Зависимости степени фиксации активного красно-фиолетового 2КТ на целлюлозном материале от природы поверхностно-активного веществ, вводимых в печатный состав, представлены на рисунках 3.21-3.23.



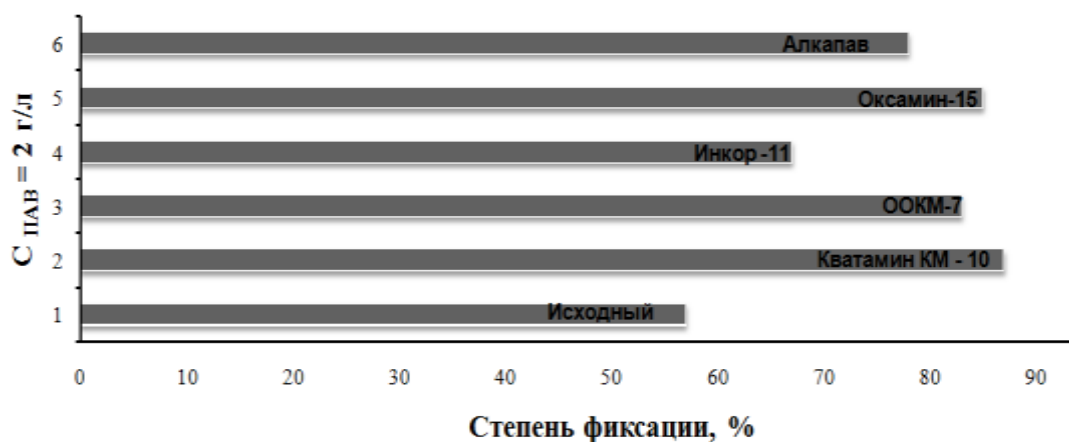
**Рисунок 3.21** – Влияние природы ПАВ на степень фиксации активного красно-фиолетового 2КТ. Наименование ПАВ: 1.исходный; 2. Кватамин КМ-10; 3. ООКМ-7; 4. Инкор-11; 5. Оксамин КМ-15; 6. Алкапав 16.C50.



**Рисунок 3.22** – Влияние природы ПАВ на степень фиксации активного красно-фиолетового 2КТ. Наименование ПАВ: 1.исходный; 2. Кватамин КМ-10; 3. ООКМ-7; 4. Инкор-11; 5. Оксамин КМ-15; 6. Алкапав 16.С50.

Данные, приведенные на рисунке 3.21. характеризуют влияние типов изучаемых ПАВ на степень полезного использования активного красителя при концентрации поверхностно – активных веществ в предпечатном составе 0,5 г/л. Максимальная степень связывания активного красителя с целлюлозой волокна достигается при использовании в качестве интенсификаторов кватамина КМ-10 и алкапав, и составляет 88% и 87% соответственно.

При концентрации ПАВ 1 г/кг в печатном составе (рисунок 3.22), максимальное значение степени фиксации наблюдается при введении в печатную краску ООКМ-7. В этом случае степень фиксации увеличивается на 26% по сравнению со степенью фиксации исходного образца.



**Рисунок 3.23** – Влияние природы ПАВ на степень фиксации активного красно-фиолетового 2КТ. Наименование ПАВ: 1.Исходный; 2. Кватамин КМ-10; 3. ООКМ-7; 4. Инкор-11; 5. Оксамин КМ-15; 6. Алкапав 16.С50.

Показано (рисунок 3.23), что максимальная фиксация активного красителя наблюдается при применении в качестве интенсификаторов амфолитных ПАВ различного химического строения ООКМ–7 и ОКМ–15 в концентрации 2 г/л и составляет 83%. Таким образом, установлено (рисунки 3.21–3.23), что использование изученных ПАВ в качестве интенсификаторов процесса печатания текстильных материалов позволяет повысить степень фиксации активного красно – фиолетового 2КТ в среднем на 10–30%.

Такое положительное воздействие на фиксацию активного красителя в волокне можно объяснить с увеличением процессов сорбции (диффузии) активных красителей в волокно в присутствии интенсифицирующих добавок является следствием катионизации целлюлозы волокна.

**Таблица 3.20** – Влияние ООКМ–7 на технические результаты печати хлопчатобумажных тканей арт.43 активными бифункциональными красителями

Наименование активного красителя	Концентрация ПАВ, г/кг	Интенсивность окраски тканей, K/S, ед.	Изменение интенсивности окраски $\Delta$ K/S, %
Активный Yellow 3RXF	-	12,5	-
	0,5	14,6	16,8
	1,0	14,2	13,1
Активный Orange ME2RL	-	13,7	-
	0,5	17,5	27,8
	1,0	15,1	10,5
Активный Red 3BXF	-	8,1	-
	0,5	10,7	31,2
	1,0	10,5	30,0
Reaktoset фиолетовый	-	10,7	-
	0,5	12,9	21,2
	1,0	14,2	33,1

Введение добавок – интенсификаторов в предпечатный состав влияет на скорость фиксации красителя на волокне, что определяет снижение количества красящих веществ в сточных водах. Исследовано влияние всех вышеперечисленных поверхностно-активных веществ на изменение

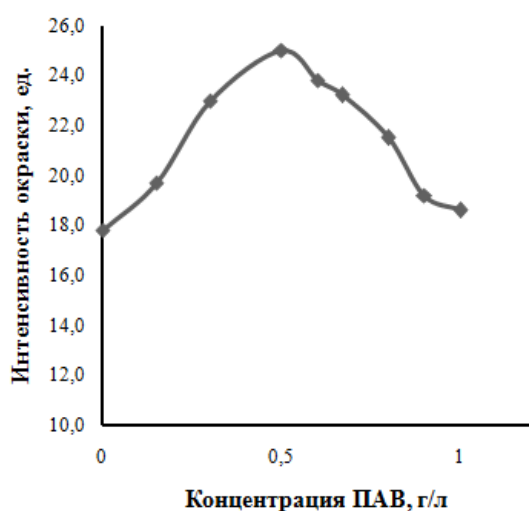
колористических показателей текстильных материалов, напечатанных бифункциональными красителями зарубежного производства. На основании полученных экспериментальных данных установлено (рисунки 3.21–3.23), что оптимальным действием по отношению к исследуемым красителям обладает ООКМ–7 в концентрации 0,5–1 г/л позволяющий интенсифицировать процесс печатания текстильных материалов.

**Таблица 3.21** – Технические результаты печати хлопчатобумажной бязи арт.248

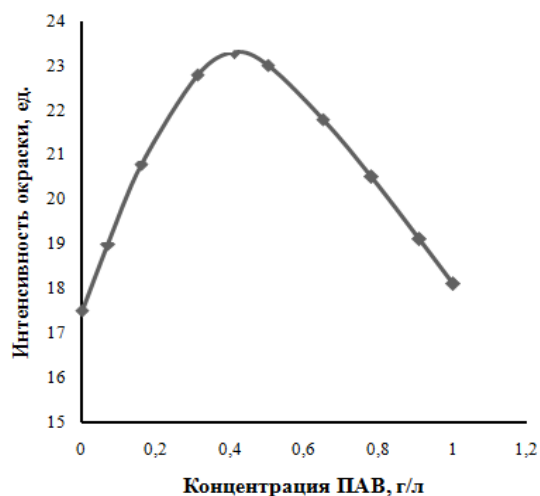
Наименование ПАВ	Концентрация ПАВ, г/кг	Альгинатная загустка			
		Интенсивность окраски, K/S, ед.	Изменение интенсивности окраски $\Delta$ K/S, %	Устойчивость окрасок, балл, к	
				Стирке №1	Поту
-	-	17,5	-	4/4/3-4	4/3/4
Инкор-11	0,3	20,8	18,9	5/4/4	4/4/4
	0,5	19,9	13,7	5/4/4	4/4/4
	1,0	17,9	2,3	4/5/4	4/4/4
ООКМ-7	0,3	22,8	30,3	4/5/5	4/4/4
	0,5	22,9	30,6	4/4/4	4/4/4
	1,0	18,2	4,0	4/4/4	4/4/4
Кватами н КМ-10	0,3	22,8	30,3	4/5-4/4	4/4/4
	0,5	24,7	41,1	4/5-4/4	4/4/4
	1,0	21,0	8,6	4/5-4/4	4/4/4

Наиболее проблемными при печати целлюлозных текстильных материалов считаются красители бирюзовых марок, представителем которых является активный бирюзовый 23Т. Известно, что степень фиксации бирюзового 23Т в запарных способах обработки ниже, чем у многих активных красителей. В связи с этим именно этот краситель был выбран в качестве объекта исследования. В качестве загущающего агента в предпечатной композиции был использован альгинат натрия. Оценены технические результаты процесса печатания хлопчатобумажного

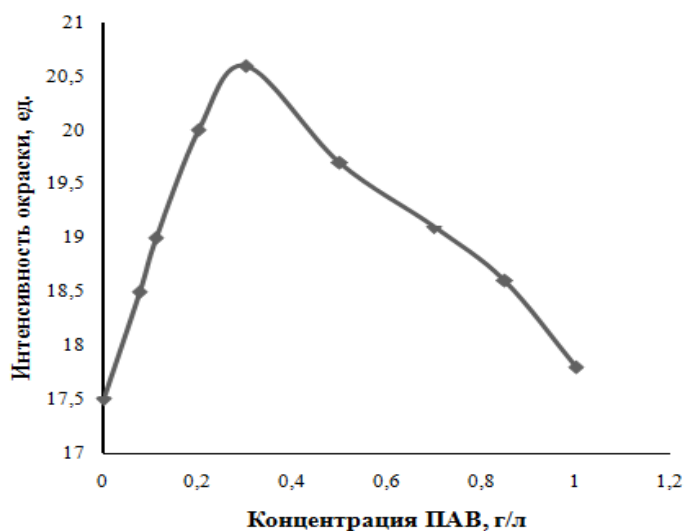
текстильного материала с использованием в качестве модельного активного бирюзового 23Т.



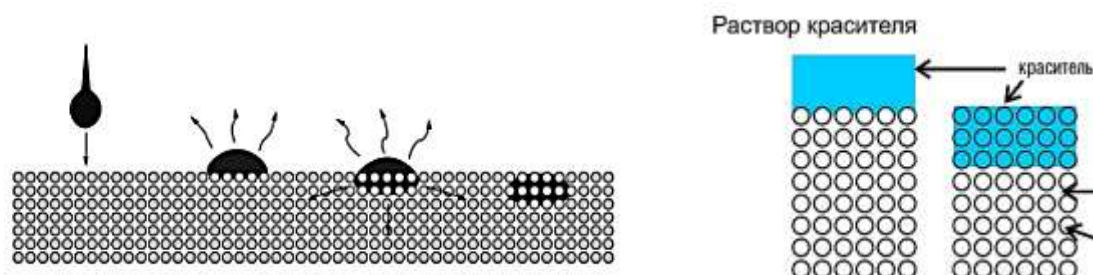
**Рисунок 3.24** — Влияние концентрации кватамина КМ-10 на интенсивности окраски напечатанных образцов



**Рисунок 3.25** — Влияние концентрации ООКМ-7 на интенсивности окраски напечатанных образцов



**Рисунок 3.26** — Влияние концентрации инкора-11 на интенсивности окраски напечатанных образцов



целлюлоза (текстильный материал)

**Рисунок 3.27** – Поведение капли чернил на хлопчатобумажной ткани с нанесенным праймером

Полученные результаты свидетельствуют, что действие интенсифицирующих добавок проявляется не только в росте показателя интенсивности окраски (K/S), но и в стабилизации формирования печатного элемента за счёт изменения условий взаимодействия «капля чернил – поверхность ткани – праймер». При оптимальных концентрациях (0,5–1,0 г/л) амфолитные и катионные ПАВ обеспечивают повышение равномерности распределения красителя в зоне печатного элемента и снижение его миграции, что особенно важно для реактивных красителей с пониженной степенью фиксации. При этом по данным испытаний устойчивости окраски к стирке и воздействию пота значения остаются на уровне 4–5 баллов, что подтверждает сохранение эксплуатационных свойств отпечатка при одновременном росте цветовой насыщенности.

Таким образом, в процессе исследования выявлено, что для интенсификации процесса цифровой печати можно использовать ПАВ катионного и амфолитного типа. Эффективность катионных препаратов для обработки целлюлозного волокна обусловлена тем, что они повышают положительный заряд волокна. Это, в свою очередь, приводит к изменению дзета-потенциала и улучшению сорбционных свойств волокна, что доказано электрохимическими исследованиями. Положительно заряженное волокно начинает притягивать к себе отрицательно заряженные молекулы красителя за счёт электростатического взаимодействия.

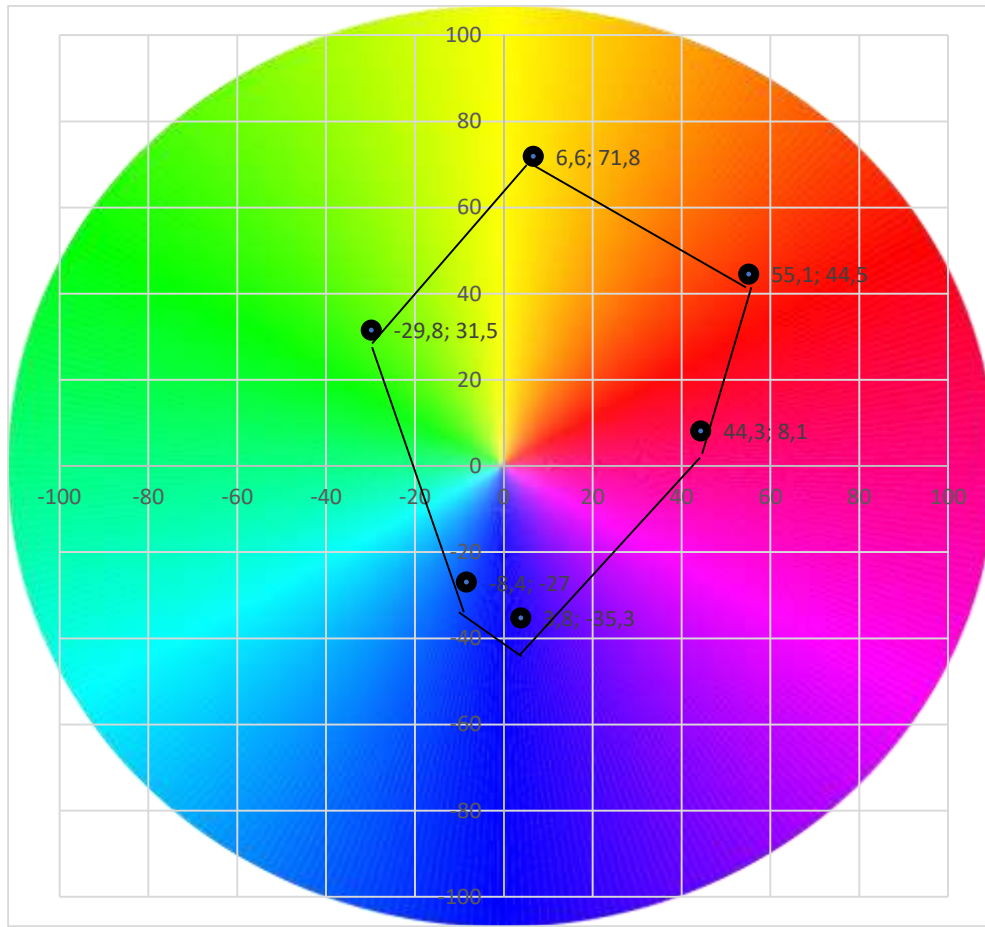
### **3.6. Производственные испытания и оценка влияния подготовки ткани на цветовой охват и качество цифровой струйной печати активными чернилами**

После определения оптических плотностей цветных изображений, напечатанных на поверхности бумаги, хлопчатобумажной ткани активными чернилами и пигментными чернилами, были определены цветные характеристики и построен цветовой охват, цветовые поля CIE Lab. По результатам вычислялась площадь с помощью нарисованных

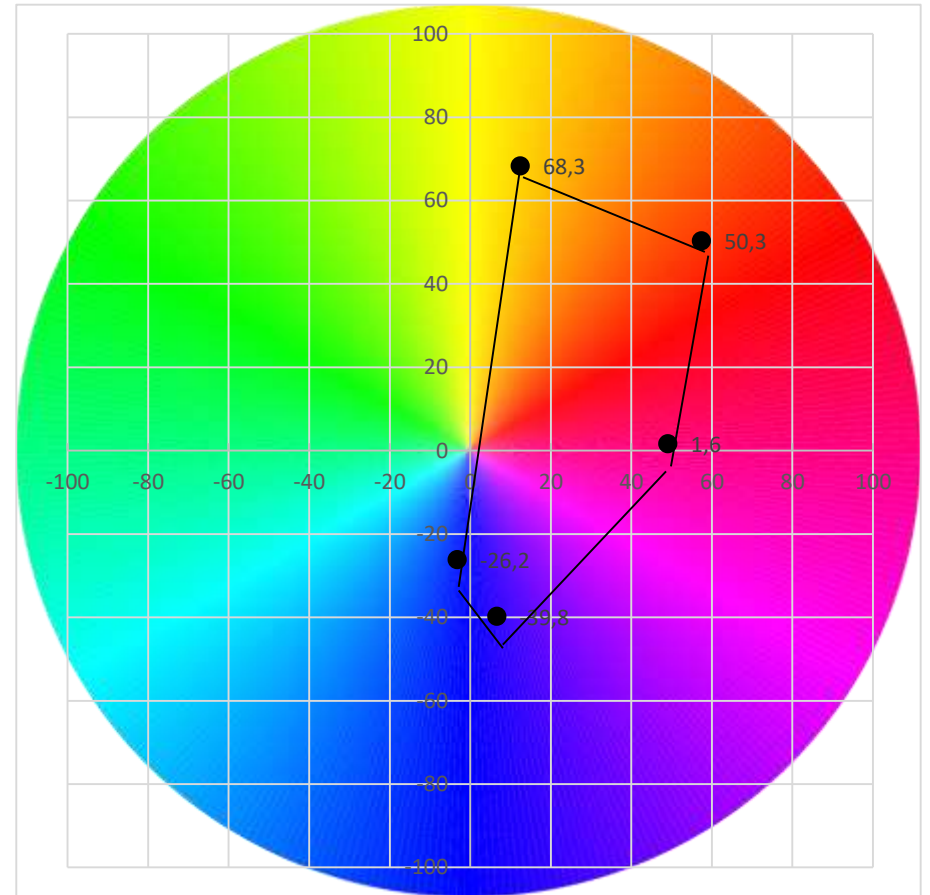
многоугольников. По сравнению с CIE Lab, цветовой модуль XYZ более тесно связан с цветами, воспринимаемыми человеческим глазом, а цветовой модуль позволяет проводить более точные измерения цвета. Следовательно, CIE Lab — это абсолютный модуль, а XYZ — относительный. Преимущество модуля CIE Lab в том, что светлота L полностью независима от цвета.

Как известно, основной проблемой пигментных чернил всегда являлась недостаточная яркость, но с применением дополнительных цветов этот недостаток получилось успешно преодолеть. Красный цвет в пигментной печати – один из наиболее сложных – получить его смесью пурпурного и желтого крайне тяжело. Теперь с появлением в палитре дополнительных красных чернил (R) и дополнительные синие чернила (B1).

Исходя из полученных результатов, из цветовых координат и графиков цветовой гаммы видно, что активные чернила имеют преимущество перед печатью пигментными чернилами по цветовому охвату, а нанесенные на поверхность тканей, соответствуют всем нормативным требованиям. На основе проведенных исследований установлено, что качество печати на всех образцах является высокой. Для пигментов площадь голубого, синего и фиолетового меньше, чем площадь зеленого и красного. Мы можем наблюдать насыщенность цвета и полную яркость красного и желтого цветов. Для активных чернил большой охват синих цветов, которые проблемные для пигментов.



**Рисунок 3.28** – Цветовой охват пигментными чернилами по ткани отбеленной по двухстадийному режиму. Чернила в расширенной цветовой палитре (C / M / Y / R / Or / Bl) пигментными чернилами **Mimaki TP250**



**Рисунок 3.29** – Цветовой охват при печати стандартными активными чернилами RCS ( yellow, magenta, cyan, blue, red 5 цветов по ткани отбеленной по двухстадийному режиму. Температура самой печати 120С. Обычно краситель равномерно распределяется по материалу и не загрязняет головку принтера. Закрепление происходит в течение 8 минут с помощью насыщенного водяного пара до 102С.

За исключением серого и черного (монохромные снижающие светлоту L)

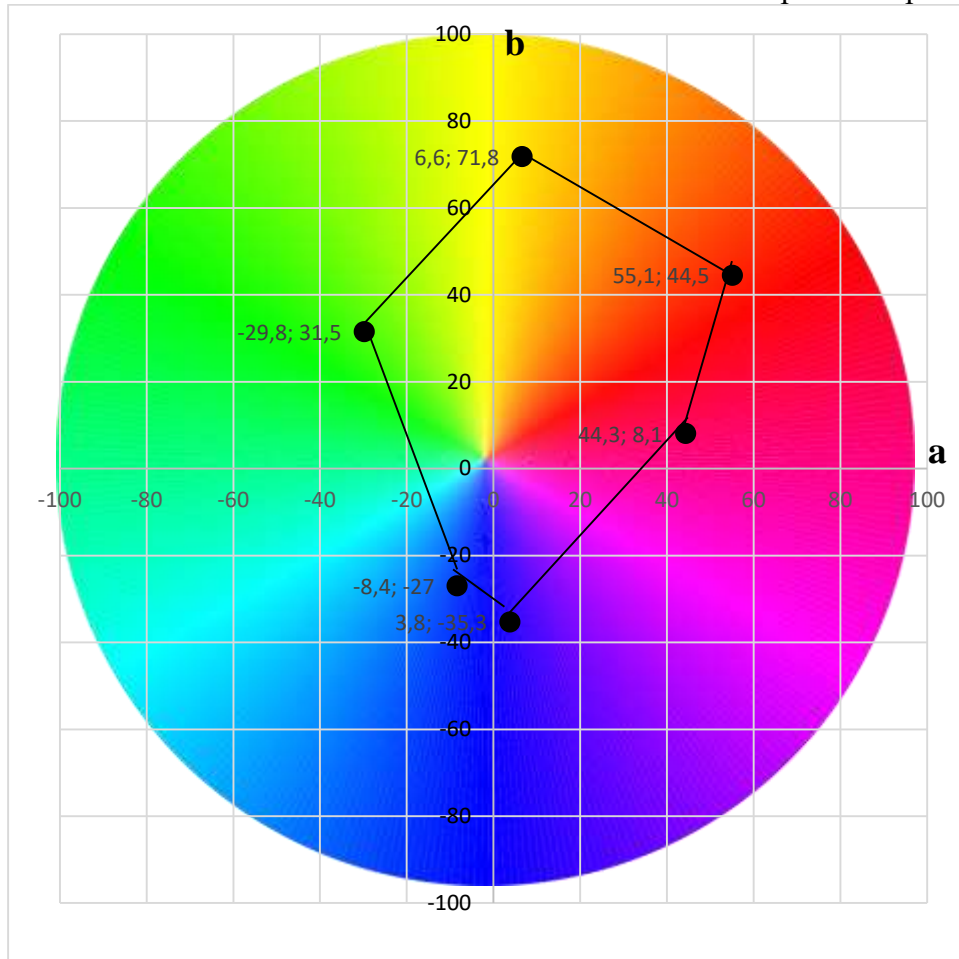


Рисунок 3.30 – Цветовой охват активными чернилами Dupont по биоотваренной ткани сатин

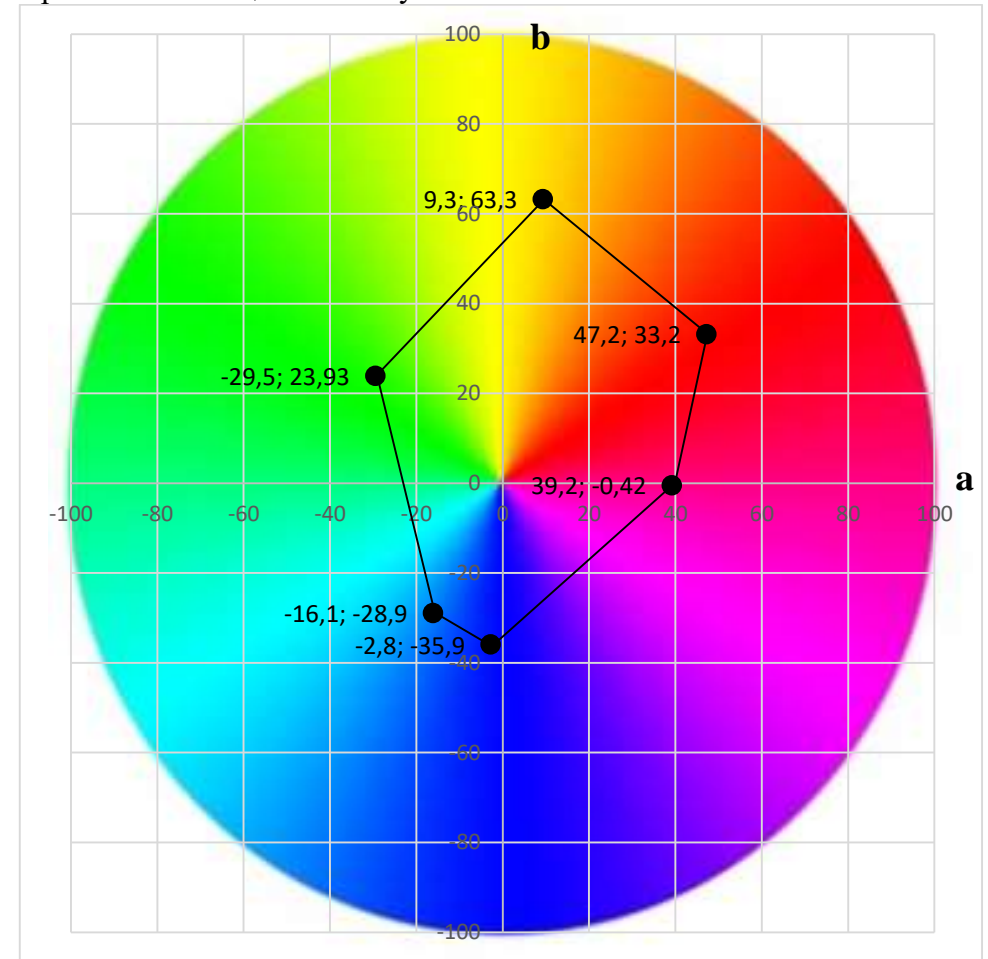
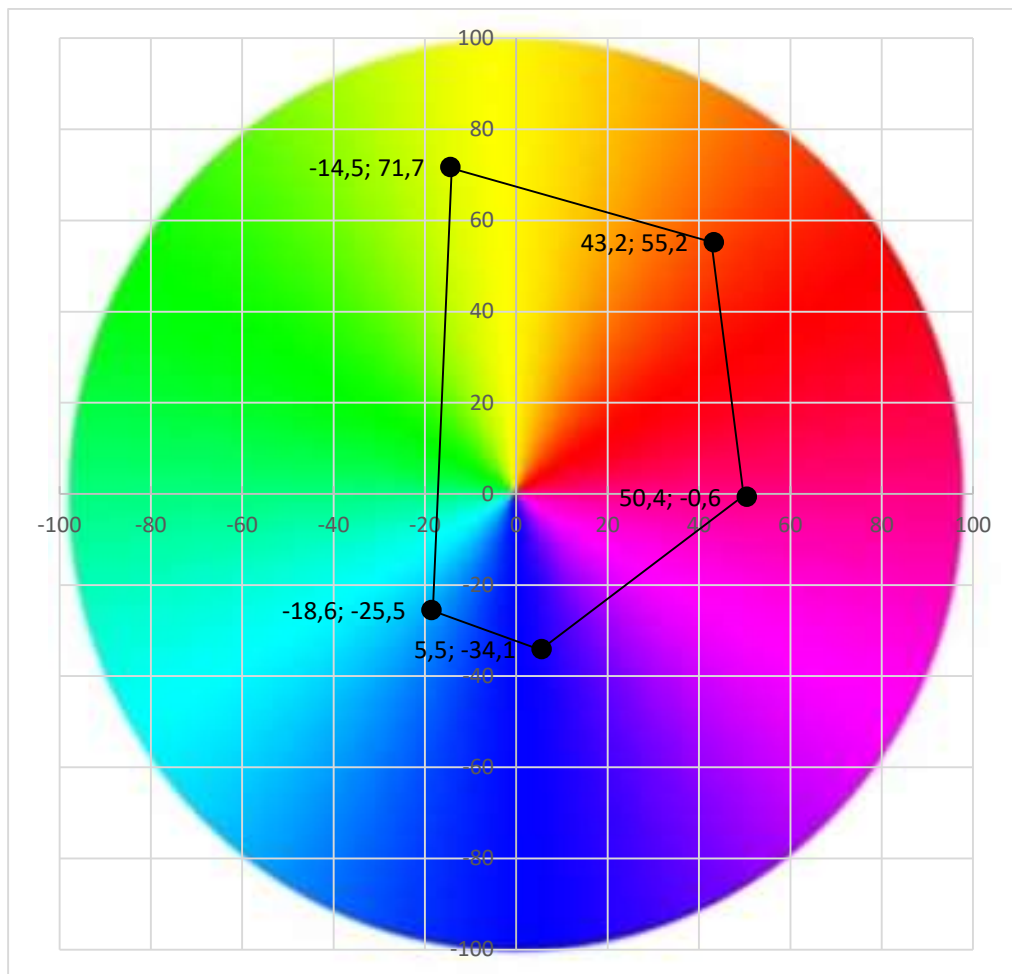
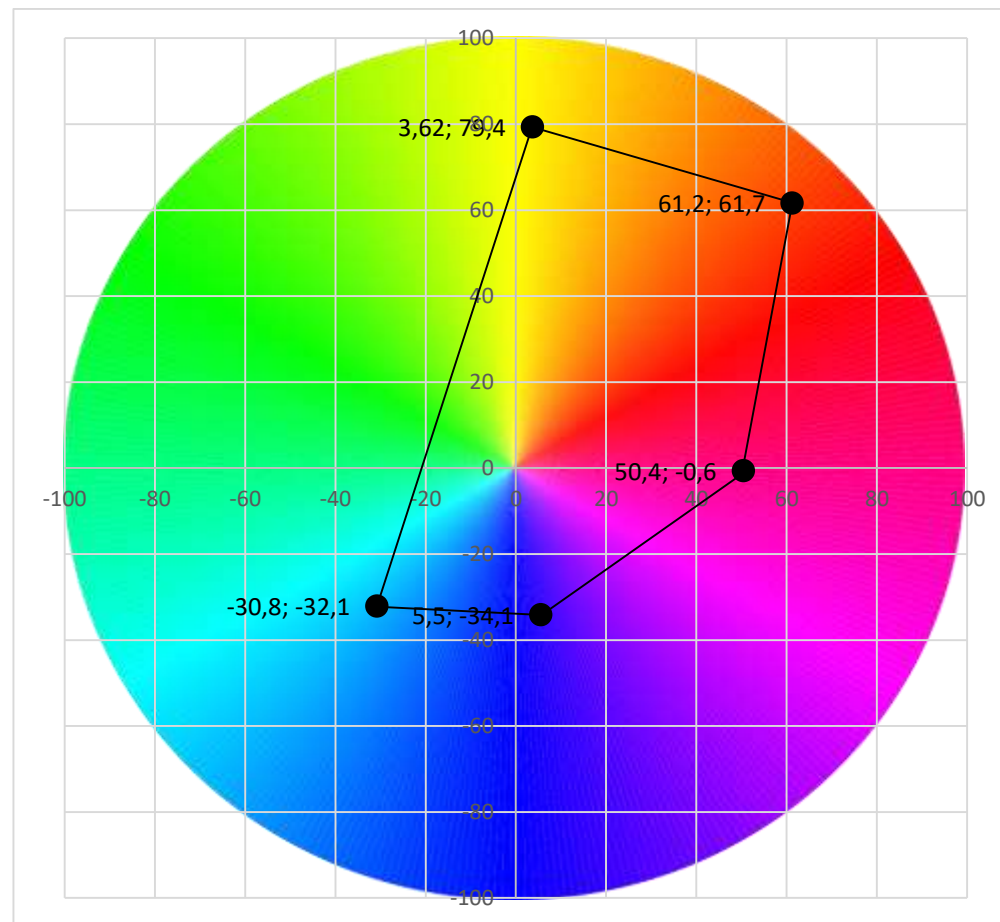


Рисунок 3.31 – Цветовой охват активными чернилами по отбеленной ткани сатин (одностадийное беление)



**Рисунок 3.32** – Цветовой охват активными чернилами по ткани сатин отбеленной по двухстадийному режиму беления (линейка)



**Рисунок 3.33** – Цветовой охват активными чернилами RCS (yellow, magenta, cyan, blue, red, orange) За исключение серого и черного (монохромные снижающие светлоту L)

**Таблица 3.22** - Сравнительная характеристика цветовых характеристик при цифровой печати активными чернилами и пигментными чернилами (технология без промывки) на хлопчатобумажной ткани сатин различными способами подготовки.

Цвет	Пигменты (без промывки)			Активные (праймер) (двухстадийное беление) RCS			Активные (одностадийное беление) RCS			Активные (расшлихтовка и одност.беление) RCS			Активные (биоотварка) RCS		
	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b	L	a	b
Yellow	80,4	6,6	71,8	63,4	12,4	68,3	54,1	19	61	57,3	21,8	63,9	61,8	18,1	67,4
Cyan	43,5	-8,4	-27,0	25,5	-3,2	-26,2	35,4	-4,8	-31,4	29,5	-2,2	-30,1	27,6	-0,6	-30,6
Orange	54,9	55,1	44,5	36,3	57,4	50,3	35,9	56,7	49,8	37,0	59,0	51,1	40,1	58,9	53,6
Grey	71,2	-2,1	8,5	10,9	-1,2	-3,5	17,5	0,4	-3,5	7,7	-0,1	-2,4	12,7	-0,1	-2,3
Black	5,4	-0,8	3,5	0,8	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	2,5	-0,9	-0,8	1,2	0,7	-0,2
Blue	34,4	368	-35,3	33,1	6,6	-39,8	27,6	3,7	-30,5	25,8	14,9	-44,2	33	0,4	-27,9

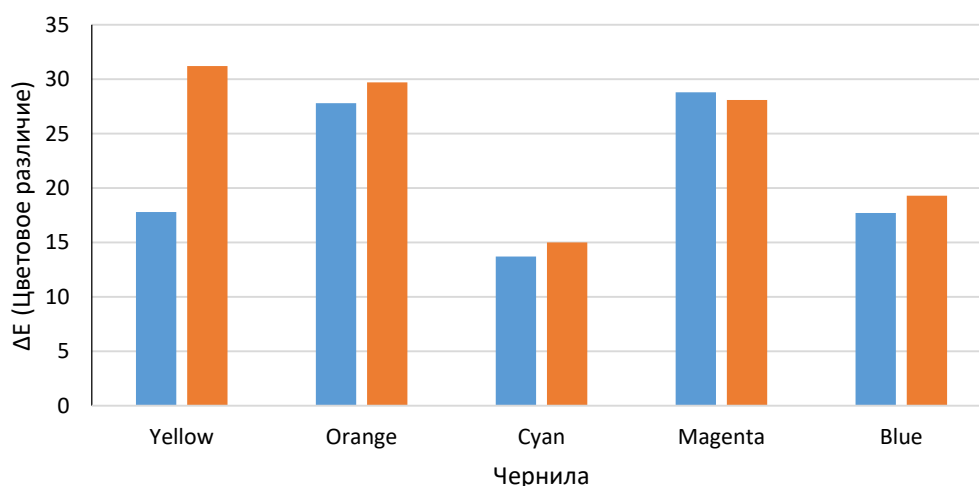
Для того, чтобы гарантированно получить идеальный принт на ткани, обычно проводят цветопробы. Этот способ является надужным для фактической проверки конечного результата. Необходимость этой операции связана с тем, что можно получить реальный цвет и скорректировать его цифровой аналог в случае существенного цветового различия с изображением, присланным заказчиком. Несмотря на то, что проведение цветопробы потребует некоторых затрат, потери будут не такими масштабными, как в случае с испорченным тиражом. При необходимости печати на разных типах ткани цветопроба проводится на каждом из вариантов. Можно экспериментировать и выполнить принт в нескольких цветовых гаммах, а затем сравнить и выбрать наилучший. Такой подход значительно усложняет работу и делает процесс печати длительным и затратным.

В настоящей части работы получены данные цифровой печати в условиях ОАО «Самойловский текстиль». Результаты представлены в таблице 3.22. Рекомендуемое разрешение файла печати от 72 до 150 dpi. Для разработанного нами цифрового оригинала паттерна линейка цветовой корректуры была в размере файла 1773 точки на ширину и 2213 точки в высоту при разрешении 1000 точек на дюйм по обеим осям. Фактический печатный размер паттерна (100%) составил 4,4. см в ширину и 5,6 в высоту.

При проведении производственных испытаний в условиях печатного цифрового цеха после нанесения разработанного предпечатного состава с уменьшенным содержанием загустителя и катионизирующим препаратов. ткань высушивали при температуре не более 100 °С. После цифровой струйной прямой печати материал фиксируют на малогабаритном зрельнике. После промывки по стандартному режиму (холодная вода, мыловка при 80 °С ПАВ Сульфосид 0,5 г/л, тёплая вода 60 °С, тёплая вода 60 °С, холодная вода) на малогабаритной промывной установке материал обрабатывали на сушильно – ширильной линии Элитекс. Состав для предпечати содержал оптимальную пониженную концентрацию загустителя и катионизирующий препарат.

В ходе проведённых экспериментов на промышленном оборудовании доказано, что использование операции подготовки текстильного материала путем низкотемпературной биоотварки с применением кислых амилаз и пектиназ обеспечивает получение печатного рисунка с большим цветовым охватом и различием ( $\Delta E$ ), в сравнении с печатью пигментными чернилами. Формируемая окраска имеет более интенсивный цвет, за счёт минимизации растекания капли чернил, сохранения природной окраски хлопкового волокна и фиксации активного красителя на целлюлозной ткани (рисунок 3.34).

Таким образом, впервые установлена зависимость цвета печатного рисунка активными чернилами при использовании метода цифровой печати от способа предварительной подготовки хлопчатобумажных тканей, показана возможность использования биоотварки без применения окислительного беления с использованием пероксида водорода для определённого ассортимента тканей не содержащих остатков семенной коробочки (галочки). Полученные результаты могут служить основой для рекомендаций технологий биоотварки как способа подготовки под цифровую печать активными чернилами для получения грунтовых «застилистых» рисунков, а также рационализации работы отделочных производств за счёт исключения химических технологий беления и внедрения цифрового оборудования.



**Рисунок 3.34** – Сравнительные результаты по цветовому различию для тканей различного способа подготовки с цифровой печатью активными чернилами.

На рисунке 3.34. приведены сравнительные результаты по цветовому различию  $\Delta E$  для тканей различного способа подготовки с цифровой печатью активными чернилами, где синий столбец – подготовка по двухстадийному режиму с щелочной отваркой и щелочно – перекисным белением; красный столбец- биоотварка. В качестве эталона для сравнения применялась цифровая печать пигментными чернилами (печать на промышленном плоттере).

Однако, как показала практика и работа в условиях печатного цеха, с учётом требований производства, не всегда требуется грунтовый орнамент. В последнем случае оптимально проведение только стадии биоотварки ( глава 3.3). При струйной печати белоземельных орнаментов актуально придание ткани белизны. Согласно стандартам ГОСТ она должна быть не менее 80 %. Однако технологии, обеспечивающие такую белизну приводят к существенной модификации восков и самой целлюлозы, в результате омыления восков на стадии щелочной отварки и их эмульгирования. Это как отмечалось в первых главах экспериментальной части приводит к высокой капиллярности ткани и растекаемости капли чернил. Поэтому задача повышения белизны при оптимизации её растекаемости решалась путем рационализации режима биоотварка – одностадийное беление (без промежуточной промывки) под перспективное эжекторное оборудование полунепрерывного действия.

Биообработка осуществлялась в условиях, описанных в методической части работы. При печати использованы стандартные чернила (рис. 3.34), дающие на отбеленном сатине яркие цвета. На рис. 3.35 представлены зависимости изменения цветовых характеристик печатного рисунка на ткани сатин от концентрации пероксида водорода в белящем растворе. На основе полученных данных построены зависимости, позволяющие производителям оперативно изменять качество подготовки под требуемые цвета. Для оценки качества текстильной печати использованы цветовые характеристики системы CIElab, показатель цветового тона, произведён расчёт показателя  $\Delta E$  (цветовое различие).



Рисунок 3.35 – Линейка цветовой корректуры, цвета-стандарты

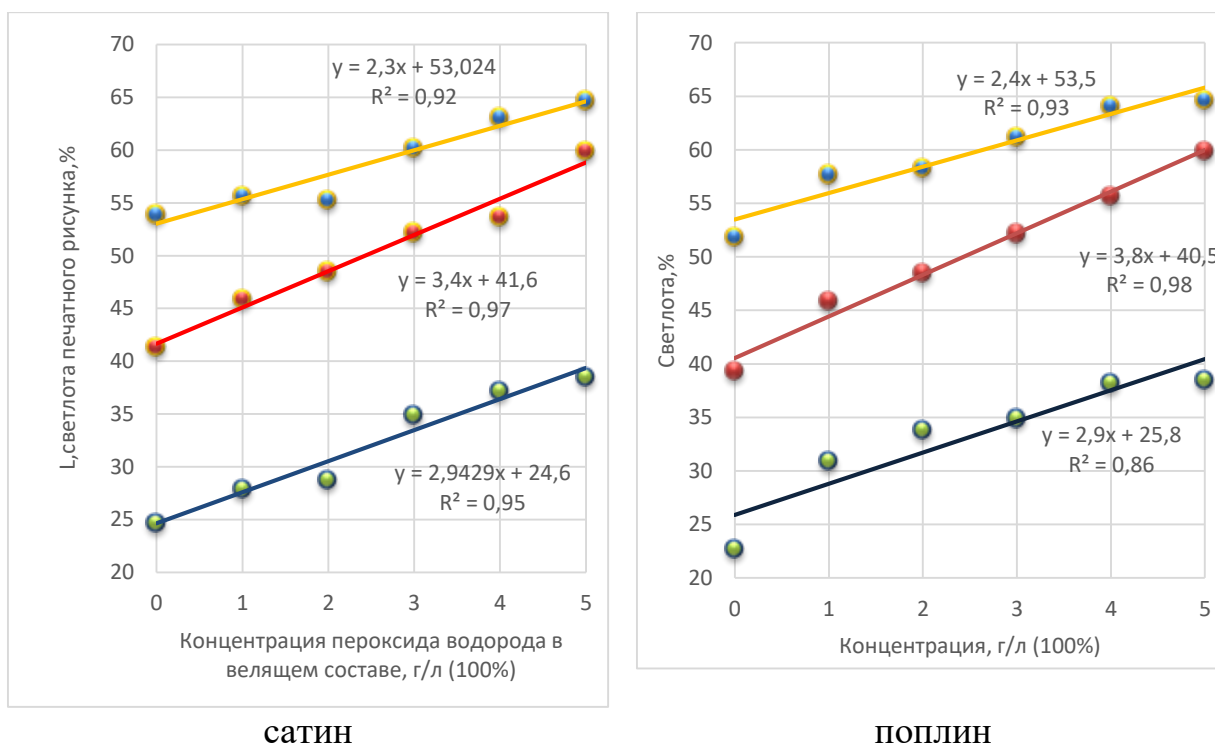


Рисунок 3.36 – Влияние концентрации пероксида в белящем составе после биоотварки на результаты цифровой печати ( $L$ , светлота, %), полученные на хлопчатобумажном Сатине-люкс (плотн.  $119\text{г/м}^2$ ), где 1- оранжевые чернила, 2- красные, 3- голубые (синие)

На рисунках 3.35 – 3.36 представлены зависимости показателя  $L$  (светлота, %) печатного рисунка от концентрации пероксида водорода при белении. Все полученные зависимости описаны уравнениями, имеющими высокий коэффициент аппроксимации ( $R^2$ ), что свидетельствует о соответствии уравнения полученным экспериментальным данным. Все кривые имеют линейный характер и позволяют прогнозировать реальный (фактический) результат печати активными чернилами на ткани в зависимости от

варьирования способа подготовки. Во всех случаях повышение концентрации дает повышение показателя светлоты печатного рисунка.

В таблице 3.23 суммированы данные производственных испытаний печати, разработанного орнамента, иллюстрирующие изменение показателей а и b системы CILab, цветового тона. Можно также видеть, что при концентрации 4 – 5 г/л биообработанные ткани приобретают требуемую белизну (более 80%). Необходимо отметить, что для различных чернил цветовой тон изменяется в значительном диапазоне, что необходимо учитывать при выборе способа подготовки.

**Таблица 3.23** - Влияние концентрации пероксида в белящем составе после биоотварки на результаты цифровой печати (цветовые характеристики), полученные на хлопчатобумажном сатине-люкс (поверхностная плотность 119г/м<sup>2</sup>).

Способ подготовки/ концентрация пероксида водорода, г/л	а +краснее/- зеленее	б +желтее/-синее	Н	Белизна фона, % ±0,5
<b>Оранжевый цвет</b>				
Суровая ткань				47,2
биоотварка	33,5	30,5	13	57,1
1	34,2	33,8	15	60,9
2	36,9	41,6	18	67,1
3	38,2	46,9	20	77,0
4	43,4	47,7	17	80,2
5	43,7	46,4	16	81,3
<b>Синий цвет</b>				
биоотварка	56,1	-45,1	215	-
1	60,9	-56,7	216	-
2	67,1	-53,1	218	-
3	77,0	-56,6	223	-
4	79,2	-56,4	221	-
5	81,3	-54,2	222	-
<b>Красный цвет</b>				
биоотварка	36,9	-10,9	324	-
1	42,2	-7,2	331	-
2	52,6	28,8	0	-
3	54,6	28,6	0	-
4	53,9	31,9	1	--
5	54,5	35,1	4	-

Представленные в главе экспериментальные данные и сводные табличные результаты позволяют обобщить влияние ключевых факторов процесса – способа подготовки хлопчатобумажных тканей, параметров цифрового изображения и состава предпечатной композиции на колориметрические характеристики отпечатка, показатели цвета, степень фиксации активных красителей и устойчивость окрасок. Полученный массив зависимостей и сравнительных оценок служит исходной основой для технологических рекомендаций по выбору рационального режима подготовки и интенсификации цифровой печати активными чернилами, а также для последующего технико-экономического обоснования целесообразности внедрения разработанных решений.

## **ГЛАВА 4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ РАЗРАБОТАННЫХ РЕШЕНИЙ**

Экономическая эффективность является одним из ключевых условий внедрения новых технологических решений в текстильное производство. Для разработанной технологии подготовки хлопчатобумажных тканей к цифровой прямой печати активными чернилами экономический эффект формируется за счёт двух основных составляющих: сокращения затрат на подготовку ткани к печати и снижения расхода активных чернил при интенсификации процесса фиксации красителя. Дополнительным преимуществом является уменьшение организационно-производственных затрат по сравнению с традиционной ротационной печатью, поскольку цифровая технология не требует изготовления и эксплуатации физических носителей изображения (сеток, валов, шаблонов), что сокращает затраты времени, труда и складских ресурсов.

### **4.1. Исходные данные и принятые допущения**

Экономический расчёт выполнен для партии ткани длиной 1000 погонных метров. В расчётах по расходу чернил принята ширина ткани 2,2 м, соответствующая текстильным материалам бельёвого назначения. Рассмотрены два варианта подготовки ткани: действующий режим (щелочная отварка и щелочно-перекисное беление на линии ЛОБ) и предлагаемый режим (низкотемпературная биоотварка в эжекторной машине без стадии беления). В качестве базовых стоимостных показателей приняты тарифы, действующие в Республике Таджикистан для соответствующей категории потребителей (по состоянию на январь 2026 г.): электроэнергия — 0,9465 сомони/кВт·ч для промышленных и непромышленных потребителей без учёта НДС; водоснабжение и водоотведение — 9,10 сомони/м<sup>3</sup> для коммерческих организаций г. Душанбе (с 1 сентября 2025 г.). Стоимость активных (реактивных) чернил для прямой цифровой печати по целлюлозным тканям принята на уровне 492,3 сомони/л (4000 руб/л) по курсу 1 рубль = 0,1231

сомони. Для оценки эффекта по чернилам рассмотрены два сценария: минимальный (экономия 10%) и максимальный (экономия 50%).

**Таблица 4.1** - Принятые исходные данные для экономического расчёта.

Показатель	Обозначение	Значение	Ед. изм.
Длина расчётной партии	L	1000	пог. м
Ширина ткани	B	2,2	м
Площадь партии	$S = L \times B$	2200	м <sup>2</sup>
Стоимость электроэнергии	Ce	0,9465 (7,7)	сомони/кВт·ч (руб/кВт·ч)
Стоимость пара	Ср	0,0322 (0,262)	сомони/кг (руб/кг)
Стоимость воды с водоотведением	Cw	9,10 (73,9)	сомони/м <sup>3</sup> (руб/м <sup>3</sup> )
Стоимость активных чернил	Ci	492,3 (4 000)	сомони/л (руб/л)
Базовый расход чернил	qi	20	мл/м <sup>2</sup>

#### 4.2. Экономическая эффективность за счёт сокращения затрат на подготовку ткани

Разработанная технология основана на замене традиционной двухстадийной схемы подготовки (щелочная отварка и щелочно-перекисное беление) на низкотемпературную биоотварку в эжекторной машине. Такая замена позволяет исключить стадию беления, сократить количество промежуточных промывок, уменьшить расход воды, пара, электроэнергии и химических реагентов. По расчётным данным, снижение потребления ресурсов по сравнению с действующей схемой составляет: по пару – 37,9%, по электроэнергии – 39,3%, по холодной воде – 42,4%.

С учётом того, что в производственных условиях полные затраты на подготовку ткани (включая межоперационные переходы, транспортировку, организационные расходы и обслуживание оборудования) фактически выше лабораторно-расчётных, для итогового технико-экономического обоснования

суммарные показатели затрат принимаются в двукратном размере. При этом относительный эффект сохраняется неизменным.

**Таблица 4.2** - Сравнение затрат на подготовку ткани (на 1000 пог. м).

Статья затрат	Действующий режим, сомони (руб.)	Предлагаемый режим, сомони (руб.)	Экономия, сомони (руб.)
Ресурсные и химические затраты (базовый расчёт)	4 069,7 (33065,4)	2 170 (17600)	1899,7 (15465,4)
Приведенные производственные затраты (коэффициент 2,0)	8 139,4 (66130,8)	4 340,0 (35200)	3799,4 (30930,8)

Таким образом, приведённые затраты на подготовку 1000 погонных метров ткани составляют:

$Z_1$  — затраты при предлагаемом режиме биоотварки: 4340 сомони (35200 руб) на 1000 пог. м;

$Z_2$  — затраты при действующем режиме щелочной отварки и беления: 8139,4 сомони (66130,8 руб) на 1000 пог. м.

Тогда экономический эффект от замены действующей схемы на биоотварку определяется как:

$$Э_1 = Z_2 - Z_1 = 8139,4 - 4340 = 3799,4 \text{ (30930,8 руб) на } 1000 \text{ пог. м}$$

Относительная экономия составляет:

$$\eta = (Э_1 / Z_2) \times 100\% = (3799,4 / 8139,4) \times 100\% \approx 46,7\%$$

Следовательно, даже при приведении затрат к более реалистичному производственному уровню экономия по подготовке ткани сохраняется на уровне около 47%, а абсолютный экономический эффект составляет порядка 3799,4 сомони (30930,8 руб.) на 1000 погонных метров.

Следует отметить, что приведённый расчёт учитывает преимущественно ресурсно – химическую составляющую подготовки ткани. В производственных условиях абсолютный экономический эффект возрастает за счёт снижения затрат на обслуживание оборудования, уменьшения объёма и загрязнённости сточных вод (исключение стадии беления и части промывок), а также

сокращения трудозатрат на межоперационные перемещения и контроль операций. Уменьшение количества промывных стадий и химических реагентов снижает нагрузку на систему водоотведения и очистки стоков, что усиливает общий эффект внедрения сокращённой подготовки.

#### **4.3. Экономическая эффективность за счёт снижения расхода активных чернил.**

Вторая составляющая экономического эффекта связана с уменьшением расхода активных чернил при цифровой печати. Экспериментально установлено, что введение в предпечатную композицию катионных и амфолитных ПАВ способствует улучшению фиксации активного красителя, повышению интенсивности окраски и уменьшению растекания капли, что позволяет снизить удельный расход чернил без ухудшения качества печати.

Расчёт выполнен для ткани шириной 2,2 м при укравистом орнаменте (площадь покрытия 95%). Площадь одного погонного метра ткани составляет:

$$S = 1 \times 2,2 = 2,2 \text{ м}^2$$

При базовом удельном расходе чернил 20 мл/м<sup>2</sup> расход на 1 погонный метр ткани составляет:

$$V = 2,2 \times 20 = 44 \text{ мл} = 0,044 \text{ л}$$

При стоимости чернил 492,3 сомони/л (4000 руб/л) затраты на чернила на 1 погонный метр равны:

$$Z_{\text{черн}} = 0,044 \times 492,3 = 21,7 \text{ сомони (176 руб) на пог. м}$$

Тогда на 1000 погонных метров:

$$Z_{\text{черн}}(1000) = 21,7 \times 1000 = 21700 \text{ сомони (176000 руб) на 1000 пог. м}$$

**Таблица 4.3** - Расчёт стоимости активных чернил при цифровой печати.

<b>Показатель</b>	<b>Формула / расчёт</b>	<b>Значение</b>	<b>Ед. Изм.</b>
Площадь 1 пог. м ткани	$1 \times 2,2$	2,2	м <sup>2</sup>
Расход чернил на 1 пог. м	$2,2 \times 20$	44	мл
Расход чернил на 1 пог. м	$44 / 1000$	0,044	л

Продолжение таблицы 4.3.

Стоимость чернил на 1 пог. м	$0,044 \times 492,3$	21,7 (176,0)	сомони (руб.)
Стоимость чернил на 1000 пог. м	$21,7 \times 1000$	21700 (176 000,0)	сомони (руб.)

При минимальной экономии чернил 10%:

$$Эчерн(10\%) = 21700 \times 0,10 = 2170 \text{ (17600 руб)} \text{ на } 1000 \text{ пог. м}$$

При максимальной экономии чернил 50%:

$$Эчерн(50\%) = 21700 \times 0,50 = 10850 \text{ сомони (88000 руб)} \text{ на } 1000 \text{ пог. м}$$

**Таблица 4.4 - Экономия затрат на чернила при снижении их расхода.**

Сценарий	Экономия расхода	Экономический эффект, сомони (руб.)/1000 м
Минимальный	10%	2170 (17 600,0)
Реалистичный	20%	4340 (35 200,0)
Реалистичный	30%	6510 (52 800,0)
Максимальный	50%	10850 (88 000,0)

Следовательно, даже при снижении расхода активных чернил на 10% дополнительный экономический эффект составляет 2170 сомони (17 600,0 руб.) на 1000 пог. м ткани, а при достижении максимального эффекта 10 850 сомони (88 000,0 руб.). При этом экономия формируется без изменения состава чернил (за счёт подготовки ткани и оптимизации предпечатной композиции), а стоимость интенсифицирующих добавок по сравнению с экономией чернил является незначительной.

#### **4.4. Сравнение цифровой и ротационной печати по затратным факторам.**

В отличие от ротационной печати, цифровая технология не требует изготовления шаблонов, сеток или валов, а также исключает затраты на их подготовку, мойку, хранение, ремонт и утилизацию. Для ротационной печати

дополнительно необходимы: станция приготовления печатных составов, рабочие, обслуживающие участок подготовки составов, изготовление комплекта шаблонов под конкретный рисунок, мойка шаблонов и отдельные площади для хранения печатной оснастки. При цифровой печати используется цифровой файл, а подготовительно-заключительный цикл существенно сокращается.

**Таблица 4.5** - Сравнение цифровой и ротационной печати по основным затратным факторам.

<b>Позиция сравнения</b>	<b>Ротационная печать</b>	<b>Цифровая печать</b>
Печатная оснастка	Необходимы шаблоны/валы	Не требуется
Подготовка к запуску	Высокая; изготовление формы, 1–2 суток	Минимальная; подготовка цифрового файла
Участок приготовления составов	Требуется	Не требуется
Мойка и хранение оснастки	Требуется	Отсутствует
Экономичность малых тиражей	Низкая	Высокая
Гибкость смены рисунка	Ограниченная	Высокая
Складские запасы	Более высокие	Снижаются (just-in-time)

Дополнительным источником экономического эффекта цифровой печати является сокращение численности обслуживающего персонала и исключение ряда вспомогательных участков. В цехе цифровой печати для устойчивой работы оборудования, как правило, достаточно 1–2 специалистов (оператор печати и специалист допечатной подготовки/контроля), тогда как при ротационной печати требуется персонал не только на печатной машине (как минимум 2 оператора), но и на участках приготовления печатных составов (красковарка), обслуживания и мойки шаблонов/валов, а также вспомогательный персонал для перемещения и хранения оснастки.

Кроме того, при цифровой технологии отсутствуют стоки, связанные с мойкой печатных валов/шаблонов и обслуживанием участка хранения и подготовки печатной оснастки. Исключение операций изготовления, травления и промывки печатных форм снижает водопотребление и количество

загрязненных промывных растворов, что повышает экологичность производства и дополнительно уменьшает эксплуатационные затраты на водоотведение и очистку.

Таким образом, ротационная печать остается экономически оправданной при крупных стабильных тиражах, тогда как цифровая печать имеет выраженное преимущество при малосерийном, ассортиментно-гибком производстве и частой смене дизайна.

#### 4.5. Суммарный экономический эффект от внедрения.

Суммарный прямой экономический эффект от внедрения разработанной технологии определяется как сумма экономии на подготовке ткани и экономии на расходе чернил:

$$Э_{общ} = Э_1 + Э_{черн}$$

**Таблица 4.6** - Расчёт суммарного экономического эффекта от внедрения (на 1000 пог. м).

Составляющая эффекта	Экономия на подготовке ткани, сомони (руб)	Экономия на расходе чернил, сомони (руб)	Суммарный прямой эффект, сомони (руб)
Минимальный (10%)	3 799,4 (30 930,8)	2 170 (17 600,0)	5 969,4 (48 607,4)
Реалистичный (20%)	3 799,4 (30 930,8)	4 332,4 (35 200,0)	8 131,8 (66 207,4)
Реалистичный (30%)	3 799,4 (30 930,8)	6 498,7 (52 800,0)	10 298,1 (83 807,4)
Максимальный (50%)	3 799,4 (30 930,8)	10 850 (88 000,0)	14 649,4 (119 007,4)

Снижение **себестоимости** продукции на 1 пог. м определяется как:

$$\Delta C = Э(\text{на } 1000 \text{ м}) / 1000.$$

Для оптимального сценария (30%)  $\Delta C = 10\,298,1 / 1000 = 10,32$  сомони/м (84 руб).

При неизменной цене реализации снижение себестоимости на величину  $\Delta C$  приводит к соответствующему увеличению прибыли на единицу продукции и, следовательно, к росту **рентабельности выпуска**.

Следовательно, суммарный прямой экономический эффект от внедрения разработанных решений составляет от 5969,4 сомони (48607,4 руб.) до 14649,4

сомони (119007,4 руб.) на 1000 пог. м ткани в зависимости от фактической степени снижения расхода активных чернил. Наиболее реалистичным для производственных условий следует считать диапазон 20–30%, при котором ожидаемый эффект составляет 8131,8–10298,1 сомони (66207,4–83807,4 руб.) на 1000 пог. м.

#### **4.6. Производственная апробация и внедрение.**

Разработанные технологические решения прошли производственную апробацию и внедрение на двух производственных площадках: на ОСП «Самойловский текстиль» в форме производственных испытаний цифровой печати орнаментов «Икат» активными красителями; на ООО «Пиллаи Точик» (г. Душанбе) в форме внедрения результатов научно – исследовательской работы по экспериментальной печати на хлопчатобумажной ткани сатинового переплетения с использованием разработанных цифровых орнаментов.

В условиях производственных испытаний подтверждено повышение интенсивности окраски и улучшение цветового различия по сравнению с печатью по предварительно отбеленным хлопчатобумажным тканям; увеличение показателя  $\Delta E$  составило до 6 единиц. Полученные ткани соответствуют требованиям ГОСТ по устойчивости окраски к физико-механическим воздействиям: к сухому трению 4 балла, к мокрому трению 4 балла, к стирке 4–5 баллов, к поту 4–5 баллов.

Проведённое технико–экономическое обоснование показало, что внедрение разработанной технологии подготовки хлопчатобумажных тканей к цифровой прямой печати активными чернилами является экономически целесообразным. Замена традиционной двухстадийной подготовки на сокращённую схему с применением биоотварки обеспечивает снижение затрат на подготовку ткани примерно на 46,7% и дает экономию 3799,4 сомони (30930,8 руб.) на 1000 погонных метров. Дополнительный эффект, связанный со снижением расхода активных чернил за счёт оптимизации предпечатной подготовки и интенсификации фиксации, составляет 2170 –10831,1 сомони

(17600,0–88 000,0 руб.) на 1000 погонных метров (при снижении расхода чернил на 10–50%). Суммарный прямой экономический эффект, таким образом, находится в диапазоне 5982,6–14647,5 сомони (48607,4–119007,4 руб.) на 1000 погонных метров ткани. При этом в производственных условиях абсолютный эффект возрастает за счёт сокращения трудозатрат и исключения ряда вспомогательных операций и участков, характерных для ротационной печати (изготовление/мойка/хранение шаблонов, приготовление печатных составов), а также за счёт уменьшения объёма и загрязнённости сточных вод, что дополнительно повышает экологическую и экономическую эффективность предложенных решений.

**Таблица 4.7** - Сравнение структуры затрат и статей себестоимости при традиционной и цифровой печати (на 100 пог. м ткани)

<b>Показатель (статья затрат)</b>	<b>Классическая печать (ротационная) по отбеленной ткани (двухстадийная подготовка)</b>	<b>Цифровая печать активными чернилами по биообработанной ткани (сокращённая подготовка)</b>	<b>Цифровая печать активными чернилами по биоотваренной и отбеленной ткани (двухстадийная подготовка)</b>
Подготовка ткани (на 100 м)	813,9 (6 613,1)	432,3 (3 512,3)	813,9 (6 613,1)
Изготовление шаблона/форм (на один дизайн)	Требуется: изготовление/подготовка комплекта (фикс. затраты; 4–8 ч на комплект)	Не требуется	Не требуется
Мытьё/обслуживание шаблонов + персонал	Требуется	Не требуется	Не требуется
Красковарка: приготовление печатного состава	Требуется	Не требуется	Не требуется
Персонал печатной линии	Обычно 2 оператора линии + обслуживающий персонал	1 оператор печати (укрупнённо)	1 оператор печати (укрупнённо)
дополнительное оборудование для подготовки шаблонов для печати	Требуется (участок подготовки)	Не требуется	Не требуется
Затраты на хранение шаблонов	Требуется	Не требуется	Не требуется

## Продолжение таблицы 4.7.

Затраты на нанесение предпечатного состава	В зависимости от технологии (часто требуется)	Требуется (учтено в техпроцессе)	Требуется (учтено в техпроцессе)
Затраты на печатную краску/пасту	Требуется (печ. паста + компоненты)	-	-
Затраты на чернила (на 100 м)	-	2170 (17 600,0)	2170 (17 600,0)
Экономия чернил за счёт интенсификации (10–30%)	-	2170 ... 649,9 (1 760,0 ... 5 280,0)	2170 ... 649,9 (1 760,0 ... 5 280,0)
ИТОГО (переменные затраты: подготовка + чернила, на 100 м)	813,9 (6 613,1) + (краска/паста*)	432,3 (3 512,3) + 2170 (17 600,0) – (217 ... 651 (1 760,0 ... 5 280,0))	813,9 (6 613,1) + 2 170 (17 600,0) – (217 ... 651 (1 760,0 ... 5 280,0))

Несмотря на то, что ротационная печать сохраняет преимущество по производительности при выпуске крупных стабильных тиражей, её применение сопровождается значительными фиксированными затратами, связанными с изготовлением и подготовкой печатных форм, обслуживанием вспомогательных участков и хранением оснастки. В этих условиях цифровая прямая печать активными чернилами обладает существенными экономическими и технологическими преимуществами при малосерийном и ассортиментно –гибком производстве, поскольку обеспечивает оперативную смену дизайна, сокращение подготовительно-заключительных операций, снижение складских запасов и возможность выпуска продукции по модели «по требованию».

Научно – практическая новизна настоящей работы заключается в том, что экономическая эффективность цифровой печати рассмотрена не изолированно, а в комплексе с разработанной сокращённой технологией подготовки хлопчатобумажных тканей и с интенсификацией фиксации активного красителя за счёт оптимизации предпечатного состава. Такой подход позволяет одновременно снизить затраты на подготовку ткани, уменьшить расход активных чернил и повысить воспроизводимость цветовых характеристик отпечатка, что в совокупности формирует реальный экономический эффект и

подтверждает целесообразность внедрения предложенных технологических решений в современное текстильное производство.

Внедрение не требует значительных капитальных затрат; экономический эффект достигается за счёт оптимизации подготовки и организации процесса, поэтому **срок окупаемости** определяется преимущественно затратами на внедрение рецептуры и носит краткосрочный характер.

## ВЫВОДЫ

1. В результате исследования обоснована возможность использования цифровых версий национальных орнаментов в технологии прямой струйной печати пигментными чернилами на хлопчатобумажных тканях; получены опытные образцы печати на текстильных принтерах [4–А], [7–А], [12–А], [20–А].

2. Установлена зависимость между параметрами корректировки цифрового изображения орнамента контрастностью и яркостью и цветовыми характеристиками напечатанной хлопчатобумажной ткани поплин, что позволяет прогнозировать практический результат печати [11–А], [18–А], [20–А].

3. Показано, что эффективность технологии прямой струйной печати «Inkjet» активными чернилами по хлопчатобумажным тканям обеспечивается предварительной подготовкой текстильного материала, включающей биоотварку и стандартную предпечатную обработку [5–А], [6–А].

4. Впервые получены зависимости цветовых характеристик цвета печатного рисунка, полученного на текстильном плоттере с использованием прямой печати активными чернилами от параметров настройки цифрового изображения (масштаба, яркости, контраста). Установлена линейная зависимость с высоким коэффициентом аппроксимации ( $R^2$  более 0,9), позволяющие прогнозировать результат текстильной прямой печати на хлопчатобумажной ткани без создания пробного образца [10–А], [11–А].

5. Полученные зависимости позволят более оперативно производить настройку цифрового изображения под требуемые цветовые характеристики

печатного рисунка. Такой подход ускорит время исполнения заказов и позволит исключить печатание цветопроб на материале, что соответственно снизит расход ткани и загруженность оборудования [21–А], [25–А].

6. Экспериментально подтверждена эффективность применения новых амфолитных и катионных поверхностно-активных веществ в составе предпечатной композиции для интенсификации цифровой печати целлюлозных тканей активными красителями; определены рациональные концентрационные параметры их использования [8–А], [9–А], [26–А].

## **РЕКОМЕНДАЦИИ**

Результаты диссертационного исследования рекомендуются для использования на предприятиях лёгкой и текстильной промышленности, осуществляющих подготовку, отделку и прямую цифровую печать хлопчатобумажных тканей активными красителями. Для повышения качества печати целесообразно применять ферментативную биоподготовку и катионную обработку тканей, обеспечивающие улучшение поверхностных свойств материала, повышение степени фиксации красителя, интенсивности окраски и устойчивости напечатанного рисунка.

При подготовке цифрового изображения к печати рекомендуется учитывать установленные зависимости между параметрами изображения контрастностью, яркостью и масштабом и цветовыми характеристиками напечатанной ткани. Это позволяет предварительно прогнозировать результат печати, сократить количество пробных образцов, снизить расход ткани и уменьшить загрузку печатного оборудования.

В производственных условиях рекомендуется использовать предпечатные композиции с амфолитными и катионными поверхностно-активными веществами, способствующими улучшению распределения красителя, стабильности цветопередачи и яркости печатного рисунка. Полученные результаты могут быть применены при разработке технологических

регламентов, технологических карт и производственных инструкций по цифровой печати хлопчатобумажных тканей.

Материалы исследования рекомендуется использовать в образовательном процессе при подготовке специалистов в области технологии текстильных материалов, отделки тканей, цифровой печати и текстильного дизайна, а также при выполнении лабораторных, курсовых, выпускных и научно-исследовательских работ студентов.

Дальнейшее развитие данного направления связано с изучением влияния предложенных методов на другие виды целлюлозосодержащих тканей, различные составы активных красителей, технологические режимы и производственные условия, а также с применением цифровых методов прогнозирования качества печати и моделирования колориметрических показателей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Xie Z., Yan X., Li J., Zhu C., Qi D. Pigment printing of polyester fabric using a single step synthesized PDMS-modified polyurethane-acrylic/pigment hybrid emulsion / Z. Xie, X. Yan, J Li, C. Zhu, D. Qi // *Textile Research Journal*. – 2022. – V. 92. – N. 15-16. – P. 2818-2829.
2. Ragab M. M., Othman H., Hassabo A. An overview of printing textile techniques / M.M. Ragab, H. Othman, A. Hassabo // *Egyptian Journal of Chemistry*. – 2022. – V. 65. – N. 8. – P. 749-761.
3. Ahmed K., Shahin K., Ragheb A. A facile synthesis with one step of disperse azo dyes to be applied as nano-inks in textile printing / K Ahmed, A Shahin, A Ragheb // *Biointerface Research in Applied Chemistry*. – 2020. – V. 11. – N. 4. – P. 11713-11723.
4. Ntim C.K., Ocran S. P., Acquaye R. Digital Textil Printing: A New Alternative to Short-Run Textile Printing in Ghana / C. K. Ntim, S. P. Ocran, R. Acquaye // *Int. J. Technol. Manag. Res.* – 2017. – V. 2. – N. 1. – P. 60–65.
5. Memon N. A. Digital textile printing for apparel sector shows significant growth in Pakistan / N. A. Memon // *Pakistan Text. J.* – 2021. – P. 54–55.
6. Yilmaz, Cavus G. Digital Printing Applications in Textile and Printing Industry of Turkiye / Yilmaz, G. Cavus // *Int. J. Eng. Appl. Sci.* – 2018. – V. 5. – N. 12. – P. 15–19. Doi:10.31873/ijeas.5.12.04.
7. Tari S., Athalye A. Practical Challenges and Remedies in Sustainable Digital Textile Printing / S. Tari, A. Athalye // *Digital Printing: Sustainable Solution to Fashion Industry*. – Singapore : Springer Nature Singapore. – 2026. – P. 335-352.
8. Vade A., Athalye A. Environmental Impact of Digital Printing Versus Traditional Textile Printing / A. Vade, A. Athalye // *Digital Printing: Sustainable Solution to Fashion Industry*. – Singapore : Springer Nature Singapore, 2026. – P. 295-333.
9. Luo C., Tian B., Liu Q., Feng Y. One-step-printed, highly sensitive, textile-based, tunable performance strain sensors for human motion detection / C. Luo, B.

Tian, Q. Liu, Y. Feng // *Advanced Materials Technologies*. – 2020. – V. 5. – N. 2. – P. 1900925.

10. Niu F., Song R., Rong Y., Zhang Y., Fu Y. One-Step Preparation of Ethyl Cellulose Films with Asymmetric Graded Pores for Low Dielectric Printing Substrates / F. Niu, R. Song, Y. Rong, Y. Zhang, Y. Fu // *Advanced Materials*. – 2025. – P. e07704.

11. [Электронный ресурс] Новости и инновации, способствующие развитию цифровой печати на текстиле. URL: <https://www.fespa.com/ru/> (дата обращения 25.03 2024).

12. Wang L., Hu C., Yan K. A one-step inkjet printing technology with reactive dye ink and cationic compound ink for cotton fabrics / L. Wang, C. Hu, K. Yan // *Carbohydrate polymers*. – 2018. – V. 197. – P. 490-496.

13. Özdemir Ş., Kadem F. D. An eco-friendly approach: effect of fixation time on colour and comfort properties of digital printed fabric / Ş. Özdemir, F.D. Kadem // *Industria Textila*. – 2023. – V. 74. – N. 5. – P. 527-533.

14. Ahmed F. Eco-sustainable printing of cellulosic polymeric material using bio-colorants and bio-crosslinkers / F. Ahmed, M.R. Repon, A.D. Pranta // *SPE Polymers*. – 2025. – V. 6. – N. 1. – P. e10159.

15. Akhtar H. M. Environmentally friendly digital printing on cotton using, synthesized pigmented inkjet inks and comparison of their properties / H.M. Akhtar, H. Tanveer, G. Tahsin, F. Tahir // *Industria Textila*. – 2022. – V. 73. – N. 5. – P. 501-510.

16. [Электронный ресурс] Количество производителей, использующих цифровую печать на текстиле URL: <https://www.inlegmash-expo.ru/> (дата обращения 25.03 2024).

17. Белокурова О.А., Щеглова Т.Л. Перспективные технологии, материалы и оборудование для текстильной печати: учеб. пособие / О.А. Белокурова, Т.Л. Щеглова // *Иван.гос.хим.-технол.ун-т.-Иваново*. – 2008. – С.72.

18. Сафонов В.В., Третьякова А.Е., Шкурихин И.М., Меньшова И.И., Пыркова М.В. Химическая технология и дизайн текстильных материалов // В.В. Сафонов, А.Е. Третьякова, И.М. Шкурихин, И.И. Меньшова, М.В. Пыркова. – М.: РИО МГТУ им. А.Н.Косыгина. – 2008. – С. 34.

19. Икромид Д. З. Актуальные вопросы цифровизации в Таджикистане / Д.З. Икромид // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. – 2022. – Т. 15. – №. 6. – С. 214-237.

20. Равшанов Д. Ч., Бабаханова Х. А., Хакназарова О. Д. Развитие полиграфической отрасли в условиях независимости республики Таджикистан / Д.Ч. Равшанов, Х.А. Бабаханова, О.Д. Хакназарова // Universum: технические науки. – 2024. – Т. 5. – №. 2 (119). – С. 5-10.

21. Коновалова М. В., Алиева А.Е. О применении активных красителей в цифровой печати по текстильным материалам из шёлка / М. В. Коновалова, А.Е. Алиева // Научный альманах: специальный выпуск журнала «Текстильная промышленность». – 2005. – № 7-8. – С.67-69.

22. Гранатович Н. Н., Тараканов М. К., Кричевский Г. Е. Разработка технологии эффективной подготовки текстильных материалов под цифровую печать активными красителями с применением катионных 328 препаратов / Н. Н. Гранатович, М. К. Тараканов, Г. Е. Кричевский // Научный альманах: специальный выпуск журнала «Текстильная промышленность». – 2006. – №7. – С.30-35.

23. Tendulkar P., Goyal P. Advancements in Digital Textile Printing / P Tendulkar, P Goyal / P. Tendulkar, P. Goyal // Technological Innovation and Sustainability: Navigating The Future. – 2024. – P. 164.

24. Javed K. Analysis of Identifying and Correcting the Digital Printing Defects in Pakistan's Textile Industry / K. Javed, A. Khan, F. Anwar, I.A. Khan, M.H. Malik // Tekstilec. – 2024. – V. 67. – N. 4. – P. 370-380.

25. Qiao X. High viscosity hydroxypropyl methyl cellulose to improve inkjet printing for cotton/polyamide fabrics / X. Qiao, K. Fang, X. Liu, J. Gong, S. Zhang, J. Wang // *Industrial Crops and Products*. – 2023. – V. 191. – P. 115907.
26. Gooby B. The development of methodologies for color printing in digital inkjet textile printing and the application of color knowledge in the ways of making project / B. Gooby // *Journal of Textile Design Research and Practice*. – 2020. – V. 8. – N. 3. – P. 358-383.
27. Javoršek D., Javoršek A. Colour management in digital textile printing / D. Javoršek, A. Javoršek // *Coloration Technology*. – 2011. – V. 127. – N. 4. – P. 235-239.
28. Jung J. J., Kim S., Park C. K. Optimization of digital textile printing process using Taguchi method / J.J. Jung, S. Kim, C.K. Park // *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*. – 2016. – V. 11. – N. 2. – P. 155892501601100207.
29. Moon S., Chae Y. Quantitative analysis of the color accuracy and reproducibility in digital textile printing: Discrepancies within color reproduction media / S. Moon, Y. Chae // *Textile Research Journal*. – 2025. – V. 95. – N. 9-10. – P. 1053-1069.
30. Kalwar M. A., Khan M.A., Wadho M.H. Cost and Benefit Analysis of Newly Installed Digital Printing Department by Using System Dynamics Modeling Technique / M.A. Kalwar, M.A. Khan, M.H. Wadho // *Jordan Journal of Mechanical & Industrial Engineering*. – 2024. – V. 18. – N. 1.
31. Yesuf H. M. Digital printing mechanisms / H.M. Yesuf, A.K. Jhatial, P.K. Gianchandani, A. Siddique // *Digital Textile Printing*. – Woodhead Publishing, 2023. – P. 21-40.
32. Krystosiak K., Kluczek A., Werpachowski W. Analysis of proper ink management impact on overall environmental equipment efficiency for sustainability / K. Krystosiak, A. Kluczek, W. Werpachowski // *Scientific Reports*. – 2024. – V. 14. – N. 1. – P. 19104.

33. Ayanlade J. Exploring creative applications in the digital age: A review of computer numerical controlled plotter / J. Ayanlade, V. Ayanwunmi, P. Omoniyi // 2023 2nd International Conference on Multidisciplinary Engineering and Applied Science (ICMEAS). – 2023. – V. 1. – P. 1-5.

34. Романова Н. В., Габбасов Р.А., Тулузакова Г.П., Миротворцева А.Ю., Вильданова А.И. Обзор современных технологий нанесения изображения на тканевые материалы из природных и синтетических полимеров / Н.В. Романова, Р.А. Габбасов, Г.П. Тулузакова, А.Ю. Миротворцева, А.И. Вильданова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 18. – С. 169-171.

35. Tkalec M., Glogar M., Penava Ž., Forte Tavčer P., Kuščer D., Stojanoska I. The Complexity of Colour/Textile Interaction in Digital Printing as an Integral Part of Environmental Design / M. Tkalec, M. Glogar, Ž. Penava, P. Forte Tavčer, D. Kuščer, I. Stojanoska // Arts. – MDPI. – 2024. – V. 13. – N. 1. – P. 29.

36. [Электронный ресурс] Кэрри Пьянофорти. Струйная печать: состояние и перспективы /PUBLISH/. URL: [https://www.publish.ru/articles/200308\\_4682096](https://www.publish.ru/articles/200308_4682096). - статья в интернете (дата обращения 25.03.2024).

37. Kiatkamjornwong S., Putthimai P., Noguchi H. Comparison of textile print quality between inkjet and screen printings / S. Kiatkamjornwong, P. Putthimai, H. Noguchi // Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions. – 2005. – V. 88. – N. 1. – P. 25-34.

38. Ujiie H. Digital textile printing: Status report 2021 / H. Ujiie // NIP & Digital Fabrication Conference. Society for Imaging Science and Technology. – 2021. – V. 37. – P. 47-52.

39. Ntim C. K., Ocran S. P., Acquaye R. Digital textile printing: a new alternative to short-run textile printing in Ghana / C.K. Ntim, S.P. Ocran, R. Acquaye // International Journal of Technology and Management Research. – 2017. – V. 2. – N. 1. – P. 60-65.

40. Cheng W., Pei L., Saleem M.A., Zhu L., Wang J. Sustainable pilot scale disperse dyeing in a waterless silicone medium dyeing system for no discharge of wastewater / W. Cheng, L. Pei, M.A. Saleem, L. Zhu, J. Wang // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – V. 321. – P. 128953.

41. Юсупова Ш.А., Чешкова А.В., Яминзода, З.А., Лапина Е.А. Цифровые технологии для печатания абровых орнаментов на современных хлопчатобумажных тканях / Ш.А. Юсупова, А.В. Чешкова, З.А. Яминзода, Е.А. Лапина // «Дизайн и технологии». – 2022. – № 91-92(133-134). – С. 20-30.

42. Tamburini D., Klink-Hoppe Z., McCarthy B. New insights into the dyes of Central Asian ikat textiles / D. Tamburini, Z. Klink-Hoppe, B. McCarthy // *Journal of Cultural Heritage*. – 2024. – Т. 66. – P. 343-355.

43. Makhmudova M. Traditional crafts of uzbekistan in modern interior design / M. Makhmudova // *SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION. Proceedings of the International Scientific Conference*. – 2017. – V. 4. – P. 87-97.

44. Tulkinjanovna A. M. Uzbek traditional textile motifs in modern fashion / A. M. Tulkinjanovna // *Latin American journal of education*. – 2025. – V. 5. – N. 5. – P. 312-315.

45. Dupuy P. N. D., Spengler III R. N., Frachetti M. D. Eurasian textiles: Case studies in exchange during the incipient and later Silk Road periods / P.N.D. Dupuy, R.N. Spengler III, M.D. Frachetti // *Quaternary International*. – 2018. – V. 468. – P. 228-239.

46. Tamburini D., Klink-Hoppe Z., McCarthy B. New insights into the dyes of Central Asian ikat textiles / D. Tamburini, Z. Klink-Hoppe, B. McCarthy // *Journal of Cultural Heritage*. – 2024. – V. 66. – P. 343-355.

47. Царева Е.Г. Между Амударьей и Сырдарьей: шёлковые икаты в культуре центральноазиатского Междуречья / Е. Г. Царева // СПб. – 2006. – С. 55.

48. Махкамова, С. М. К истории ткачества в Средней Азии / С. М. Махкамова // Художественная культура Средней Азии IX-XIII веков: сборник статей / Под ред. Л. И. Ремпеля. – Ташкент: Изд. литературы и искусства имени Гафура Гуляма. – 1983. – С. 87.

49. Makhmudova N. The Influence of Ikat and Color Palette on Traditions and Modernity in Uzbekistan / N. Makhmudova // European Journal of Arts, Humanities and Social Sciences. – 2024. – V. 1. – N. 6. – P. 163-168.

50. Tangirova N. Crafts in 16th-century samarkand and bukhara: an analysis based on rg mukminova's research / N. Tangirova // Академические исследования в современной науке. – 2025. – V. 4. – N. 28. – P. 197-200.

51. Юсупова Ш.А., Чешкова А.В., Яминзода З.А., Умарова А.С., Лапина Е.А. Цифровые технологии печати для воспроизведения русских ситцев 1880-1912 годов с орнаментами традиционных среднеазиатских тканей и создания новых / Ш. А. Юсупова, А. В. Чешкова, З. А. Яминзода, А. С. Умарова // Сборник материалов: Инновационные материалы и технологии в дизайне, IX всероссийская научно-практическая конференция с участием молодых ученых, Санкт-Петербург. – 2023. – С. 72-75.

52. Compareti M. Ancient Iranian decorative textiles: New evidence from archaeological investigations and private collections / M. Compareti // The Silk Road. – 2015. – V. 13. – P. 36-44.

53. Zagirova G. I. The Lotus in Central Asia: A Sassanian Motif in the Islamic Stucco Decoration / G.I. Zagirova // Actual Problems of Theory and History of Art. – 2022. – V. 12. – P. 608-621.

54. Котова Р.В. Орнамент-отражение времени 16-19 века / Р. В. Котова // – М: РНО МГУДТ. – 2011. – С. 70.

55. Обидова Д.Р. Текстиль «икат» в таджикском национальном костюме / Д. Р. Обидова // Сборник трудов по материалам IV Международного конкурса научно-исследовательских работ. Уфа. – 2021. – С. 153-160.

56. Сиддиков П. С. Основы создания технологии и оптимизация процессов при изготовлении национальных абровых тканей: монография / П. С. Сиддиков // «Fanva technologia». Ташкент – 2017. – С. 200.

57. Tamburini D. Exploring the transition from natural to synthetic dyes in the production of 19th-century Central Asian ikat textiles / D. Tamburini, E. Breitung, C. Mori, T. Kotajima, M.L. Clarke, B. McCarthy // Heritage Science. – 2020. – V. 8. – N. 1. – P. 1-27.

58. Makhmudova N. The Influence of Ikat and Color Palette on Traditions and Modernity in Uzbekistan / N. Makhmudova // European Journal of Arts, Humanities and Social Sciences. – 2024. – V. 1. – N. 6. – P. 163-168.

59. Hou X., Chen G., Xing T., Wei Z. Reactive ink formulated with various alcohols for improved properties and printing quality onto cotton fabrics / X. Hou, G. Chen, T. Xing, Z. Wei // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2019. – V. 14. – P. 1558925019849242.

60. Wang L., Yan K., Hu C., Ji B. Preparation and investigation of a stable hybrid inkjet printing ink of reactive dye and CHPTAC / L. Wang, K. Yan, C. Hu, B. Ji // Dyes and Pigments. – 2020. – V. 181. – P. 108584.

61. Faisal S., Ali M., Naqvi S., Lin L. Statistical optimization and bulk scale validation of the effects of cationic Pre-treatment of cotton fabric for digital printing with reactive dyes / S. Faisal, M. Ali, S. Naqvi, L. Lin // Journal of Natural Fibers. – 2022. – V. 19. – N. 13. – P. 6737-6747.

62. Khatri Z., Memon M.H., Khatri A., Tanwari A. Cold pad-batch dyeing method for cotton fabric dyeing with reactive dyes using ultrasonic energy / Z. Khatri, M.H. Memon, A. Khatri, A. Tanwari // Ultrasonics sonochemistry. – 2011. – V. 18. – N. 6. – P. 1301-1307.

63. Мельников Б.Н., Щеглова Т. Л., Виноградов Г. И. Применение красителей: учебное пособие для вузов / Б. Н. Мельников, Т. Л. Щеглова, Г. И. Виноградов // - 3-е издание, испр. и доп.. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2013. – С. 331.

64. Wang L., Hu C., Yan K. A one-step inkjet printing technology with reactive dye ink and cationic compound ink for cotton fabrics / L. Wang, C. Hu, K. Yan // *Carbohydrate polymers*. – 2018. – V. 197. – P. 490-496.
65. Khatri Z., Mayakrishnan G., Hirata Y., Wei K., Kim I.S. Cationic-cellulose nanofibers: preparation and dyeability with anionic reactive dyes for apparel application / Z. Khatri, G. Mayakrishnan, Y. Hirata, K. Wei, I.S. Kim // *Carbohydrate polymers*. – 2013. – V. 91. – N. 1. – P. 434-443.
66. Wang L., Du Y., Zhu Q., Song J., Ou K., Xie G., Yu Z. Regulating the alkyl chain length of quaternary ammonium salt to enhance the inkjet printing performance on cationic cotton fabric with reactive dye ink / L. Wang, Y. Du, Q. Zhu, J. Song, K. Ou, G. Xie, Z. Yu // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2023. – V. 15. – N. 15. – P. 19750-19760.
67. Moon S., Chae Y. Quantitative analysis of the color accuracy and reproducibility in digital textile printing: Discrepancies within color reproduction media / S. Moon, Y. Chae // *Textile Research Journal*. – 2025. – V. 95. – N. 9-10. – P. 1053-1069.
68. Gooby B. The development of methodologies for color printing in digital inkjet textile printing and the application of color knowledge in the ways of making project / B. Gooby // *Journal of Textile Design Research and Practice*. – 2020. – V. 8. – N. 3. – P. 358-383.
69. Tkalec M., Glogar M., Penava Z., Forte Tavcer P., Kuscer D., Stojanoska I. The Complexity of Colour/Textile Interaction in Digital Printing as an Integral Part of Environmental Design / M Tkalec, M Glogar, Ž Penava, P Forte Tavčer, D Kuščer, I Stojanoska // *Arts*. MDPI. – 2024. – V. 13. – N. 1. – P. 29.
70. Кураев А. Ю., Киселев А. М., Тихомирова Н. А., Зайченко Л. П. Свойства растворов красителей для струйной печати текстильных материалов / А. Ю. Кураев, А. М. Киселев, Н. А. Тихомирова, Л. П. Зайченко // *Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности*. – 2009. – №. 6. – С. 66-68.

71. Лещева О.А., Козлова О. В. Построение цветowych композиций с помощью компьютерных графических программ: лаборат. Практикум / О. А. Лещева, О. В. Козлова // Иван. гос.хим.-технол. ун-т.-Иваново. – 2008. – С. 79.

72. Козлова О.В., Борисова О. А. Photoshop для колористов-отделочников: метод.указание к лаб.практикуму / О. В. Козлова, О. А. Борисова // Иван.гос.хим.-технол.ун-т. Иваново. – 2009. – С. 32.

73. [Электронный ресурс] Самойлова Г.И. Виды плоттеров: их отличия и характеристики. URL: <https://tehnopanorama.ru/orgtehnika/vidy-plotterov.html> - статья в интернете (дата обращения 25.03 2024).

74. Nurullo K., Nafisa S. Digitalization-as the main factor in the development of the quality management system of the textiles industry of the Republic of Uzbekistan / K. Nurullo, S. Nafisa // BIO Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – V. 65. – P. 03004.

75. Tamburini D., Klink-Hoppe Z., McCarthy B. New insights into the dyes of Central Asian ikat textiles / D. Tamburini, Z. Klink-Hoppe, B. McCarthy // Journal of Cultural Heritage. – 2024. – V. 66. – P. 343-355.

76. Zhang B., Li J., Yang X., Yin Z. Advances in multimodal electrohydrodynamic printing for high-resolution sensor fabrication: mechanisms, materials, and applications / B. Zhang, J. Li, X. Yang, Z. Yin // Nanoscale. – 2025. – V. 17. – N. 25. – P. 15132-15174.

77. Ng L. W. T., Lee S.W., Chang D.W. Organic Photovoltaics' New Renaissance: Advances Toward Roll-to-Roll Manufacturing of Non-Fullerene Acceptor Organic Photovoltaics / L.W.T. Ng, S.W. Lee, D.W. Chang // Advanced Materials Technologies. – 2022. – V. 7. – N. 10. – P. 2101556.

78. Чешкова А.В., Шарнина Л. В., Одинцова О. И. Прогрессивное оборудование отделочного текстильного производства: учебное пособие / А. В. Чешкова, Л. В.Шарнина, О. И. Одинцова // ИГХТУ– Иваново. – 2016. – С. 170.

79. Крылов М. И. Развитие цифровой печати на тканях и использование новых возможностей в текстильном дизайне / М. И. Крылов // *Мода и дизайн: исторический опыт - новые технологии: Материалы XXIV Международной научной конференции, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна.* – 2021. – С. 323-326.

80. Masenka Mikuz, Šostar-TurkSonja S., Forte Tavčer P. Printing and design in the processes of textile inkjet printing / Masenka Mikuz, S. Šostar-TurkSonja, P. Forte Tavčer // *Tekstilec.* – 2008. – V. 51. – N. 1–3. – P. 7–29.

81. Arvind N. Cationized Cellulose Materials: Enhancing Surface Adsorption Properties Towards Synthetic and Natural Dyes / N. Arvind // *Polymers.* – 2025. – V. 17(1). – N. 36. Doi: 10.3390/polym17010036.

82. Acharya S., Abidi N., Rajbhandari R., Meulewaeter F. Chemical cationization of cotton fabric for improved dye uptake / S. Acharya, N. Abidi, R. Rajbhandari, F. Meulewaeter // *Cellulose.* – 2014. – V. 21. – P. 4693-4706. Doi: 10.1007/s10570-014-0457-2.

83. Arivithamani N. Cationization of cotton for industrial scale salt-free reactive dyeing of garments. *Clean Technol Environ Policy* / N. Arivithamani // *Dev VRG. Meulewaeter.* – 2017. – V. 19. – P. 2317-2326. Doi: 10.1007/s10098-017-1425-y.

84. Aktek T., Millat A. Salt free dyeing of cotton fiber—A critical review / T. Aktek., A. Millat // *Int J Text Sci.* – 2017. – V. 6. – N. 2. – P. 21-33.

85. Georgieva A., Pishev A. Dyeing of cellulose textile materials with mono- and polyfunctional reactive dyes / A. Georgieva, A. Pishev // *Vlákna a text.* – 2001. – 2001. – V.8. – N.3. – P.195–197.

86. Анушервони Ш. Интенсификации процесса крашения целлюлозных и хлопкошёлковых тканей / Ш. Анушервони // *Вестник технологического университета Таджикистана (Душанбе).* – 2021. – V. 4 (47). – С. 10-15.

87. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Хим. технология

и оборудование отделоч. пр-ва" и специализации "Колорирование текстил. материалов" : (В 3-х т.) / Г. Е. Кричевский // 1. изд. - Москва : Рос. заоч. ин-т текстил. и лег. пром-сти. – 2000. – С.435.

88. Гранатович Н. Н. Разработка эффективной технологии подготовки хлопчатобумажной ткани под цифровую компьютерную печать активными красителями : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.19.02. – М., 2007

89. Chiu C., Solarek D. Modification of starches / C. Chiu, D. Solarek // Starch. Academic Press. – 2009. – P. 629-655.

90. Nachtergaele W. The benefits of cationic starches for the paper industry / W. Nachtergaele // Starch-Stärke. – 1989. – V. 41. – N. 1. – P. 27-31.

91. Zhang S., Ma W., Ju B., Dang N., Zhang M., Wu S., Yang J. Continuous dyeing of cationised cotton with reactive dyes / S. Zhang, W. Ma, B. Ju, N. Dang, M. Zhang, S. Wu, J. Yang // Coloration technology. – 2005. – V. 121. – N. 4. – P. 183-186.

92. Arivithamani N., Dev V. R. G. Characterization and comparison of salt-free reactive dyed cationized cotton hosiery fabrics with that of conventional dyed cotton fabrics / N. Arivithamani // Journal of Cleaner Production. – 2018. – V. 183. – P. 579-589.

93. Nallathambi A., Rengaswami G. D. V. Industrial scale salt-free reactive dyeing of cationized cotton fabric with different reactive dye chemistry / A. Nallathambi, G. D. Rengaswami // Carbohydrate polymers. – 2017. – V. 174. – P. 137-145.

94. Farrell M. J., Hauser P. J. Cationic Cotton, Reservations to Reality / M. J. Farrell, P. J. Hauser // AATCC Review. – 2013. – V. 13. – N. 5.

95. Farrell M. J., Ormond R. B., Gabler W. J. Quantitative analysis of trimethyl amine in cotton fabrics cationized with 3-chloro-2-hydroxypropyltrimethylammonium chloride / M. J. Farrell, R. B. Ormond, W. J. Gabler // Cellulose. – 2015. – V. 22. – N. 5. – P. 3435-3439.

96. Hauser P. J., Tabba A. H. Improving the environmental and economic aspects of cotton dyeing using a cationised cotton / P. J. Hauser, A. H. Tabba // *Coloration Technology*. – 2001. – V. 117. – N. 5. – P. 282-288.

97. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашенных котонинсодержащих тканей // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 5 (389). С. 62-68.

98. Джаборова Ш.Р., Топорищева Н.А., Чешкова А.В., Яминзода З.А. Перспективы ферментной экоподготовки хлопковых и полушёлковых тканей для колорирования активными красителями // *Вестник Технологического университета Таджикистана*. 2020. №1(40). С.53-56.

99. Чешкова А.В., Топорищева Н.А., Коткова Т.С., Фролова О.А., Кабешов А.А. Практика получения гладкокрашенных хлопкольняных тканей с природно-окрашенным котонином // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2023. № 6 (408). С. 143-149.

100. Н.А Топорищева, А.В. Чешкова, О.А. Каменева, А.А.(Фролова) Биоотварка в технологиях получения актуальных гладкоокрашенных тканей на основе котонина льна. // *СПГУТД /Изв.вузов. Технология легкой промышленности*. – 2022. – Т. 56. – № 3 – С. 20 – 26.

101. Скобова, Н.В., Ясинская Н.Н. Экспериментальные исследования процесса биообработки льняных тканей // *Вестник Витебского Государственного технологического университета*, 2013, вып. 25, С. 59-63.

102. Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Котко К. А. Применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию // *Вестник ВГТУ*. 2018.;

103. И.М.Шкурихин, Крашение хлопка прямыми красителями в присутствии

амилолитических ферментов /И.М.Шкурихин, В.В.Сафонов/  
*Химическая технология*. - 2002.- №11.- С. 9-13.

104. Wafa Haddar, Shahid Adeel, Mahwish Salman, Abdul Ghaffar, Mehwish Naseer, Muhammad Usama and Manel BenTicha. Ecological Applications of Enzymes in Plants Based Textile Dyeing // Dyes and Pigments - Insights and Application May 2023, DOI:10.5772/intechopen.108603

105. Anju Kushwaha, Dr. Priyanka Kesarwani, Rashi Kushwaha, Bio-Scouring- An Advancement In Preliminary Processing Of Textile// International Journal of Engineering Technology and Management Sciences Website: ijetms.in Issue: 1 Volume No.8, 2024, C. 276-283, | DOI:10.46647/ijetms.2024.v08i01.036

106. Wafa Haddar, Shahid Adeel, Mahwish Salman, Abdul Ghaffar, Mehwish Naseer, Muhammad Usama and Manel BenTicha. Ecological Applications of Enzymes in Plants Based Textile Dyeing // Dyes and Pigments - Insights and Application DOI:10.5772/intechopen.108603

107. Anju Kushwaha, Dr. Priyanka Kesarwani, Rashi Kushwaha, Bio-Scouring- An Advancement In Preliminary Processing Of Textile// International Journal of Engineering Technology and Management Sciences Website: ijetms.in Issue: 1 Volume No.8 , 2024 , C. 276-283, | DOI:10.46647/ijetms.2024.v08i01.036

108. Сафонов В.В., Шкурихин И.М. Биотехнологический способ интенсификации крашения целлюлозных тканей // Сб. тез. междунар. науч.-техн. конф. «Достижения текстильной химии в производство» (Текстильная химия-2000), Иваново, 2000.-С. 140.

109. Kalantzi, S. et al. Improved properties of cotton fabrics treated with lipase and its combination with pectinase". *Fibres & Textiles*. 2010. vol.18. № 5 (82), pp. 86-92.

110. Shanthi R., Krishnabai G. Process optimization for bioscouring of cotton and lycra cotton weft knits by Box and Behnken design // *Carbohydrate polymers*. – 2013. – V. 96. – N. 1. – P. 291-295.

111. Singh A. et al. Xylano-pectinolytic synergism from a bacterial isolate for ecofriendly processing of jute fabric // *Journal of cleaner production*. – 2016. – V. 124. – P. 120-125.

112. Špička N. et al. Enzymatic scouring and low-temperature bleaching of fabrics constructed from cotton, regenerated bamboo, poly (lactic acid), and soy protein fibers //Fibers and Polymers. – 2015. – V. 16. – P. 1723-1733.

113. Singh A. et al. A sustainable and green process for scouring of cotton fabrics using xylano-pectinolytic synergism: switching from noxious chemicals to eco-friendly catalysts //3 Biotech. – 2018. – V. 8. – P. 1-9.

114. Tzanov T. et al. Bio-preparation of cotton fabrics //Enzyme and Microbial Technology. – 2001. – V. 29. – N. 6-7. – P. 357-362.

115. Aly A. S., Moustafa A. B., Hebeish A. Bio-technological treatment of cellulosic textiles //Journal of Cleaner Production. – 2004. – V. 12. – N. 7. – P. 697-705.

116. Shanthi R., Krishnabai G. Process optimization for bioscouring of cotton and lycra cotton weft knits by Box and Behnken design //Carbohydrate polymers. – 2013. – V. 96. – N. 1. – P. 291-295.

117. Сафонов, В.В., Шкурихин И.М. Влияние ферментов и аминокислот на крашение целлюлозных текстильных материалов водорастворимыми красителями / В.В. Сафонов, И.М. Шкурихин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2001. – №.1. – С.43–46.

118. Сафонов, В.В., Лаврова Н.К. Электронная теория адсорбции красителей на текстильных волокнах / В.В. Сафонов, Н.К. Лаврова // Химическая промышленность. – 1991. – №.7. – С.16–19.

119. Fang K., Zhang C. Surface physical–morphological and chemical changes leading to performance enhancement of atmospheric pressure plasma treated polyester fabrics for inkjet printing / K. Fang, C. Zhang // Applied Surface Science. – 2009. – V. 255. – N. 17. – P. 7561-7567.

120. Zhang C.M., Fang K.J. Aging of surface properties of polyester fabrics treated with atmospheric pressure plasma for inkjet printing / C.M. Zhang, K.J. Fang //Surface engineering. – 2012. – V. 28. – N. 4. – P. 306-310.

121. Butrim S.M., Bil'dyukevich T.D., Butrim N.S. Synthesis and physicochemical properties of cationic starches / S. M. Butrim, T.D. Bil'dyukevich, N.S. Butrim // Chemistry of Natural Compounds. – 2011. – V. 47. – N. 2. – P. 185-189.

122. Strnad S., Zemljic L.F. Cellulose–chitosan functional biocomposites / S. Strnad, L.F. Zemljic // Polymers. – 2023. – V. 15. – N. 2. – P. 425.

123. Годжаева А.Р., Асфандиярова Л. Р. Синтез водорастворимого катионного полиэлектролита на основе эпихлоргидрина и диметиламина / А.Р. Годжаева, Л.Р. Асфандиярова // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2013. – №. 12. – С. 15-16.

124. Топчиев Д.А., Малкандуев Ю.А. Катионные полиэлектролиты: получение, свойства и применение. М: ИКЦ «Академкнига», – 2004. – С.232.

#### **ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА:**

[1-А] Юсупова Ш.А. Эволюция национальных текстильных абровых орнаментов и современные их цифровые версии для печати на хлопчатобумажных тканях / Юсупова Ш.А., Чешкова А.В., Лапина К.А. // Научный журнал «Дизайн и технологии» № 91-92 (133-134). 2022г. РГУ им. А.Н. Косыгина. Москва. С. 20-30. ISSN 2076-4693.

[2-А] Юсупова Ш.А. Влияние подготовки цифрового изображения на результат струйной печати на текстильном плоттере активными чернилами / Лапина Е.А., Чешкова А.В., Юсупова Ш.А., Штуканов М.Д. // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности №2, 2024. Санкт-Петербург. ISSN 0021-3489. DOI: 10.46418/0021-3489\_2024\_66\_02\_13 С.74-77.

[3-А] Юсупова Ш. А. Влияние подготовки хлопчатобумажных тканей на качество цифровой прямой струйной печати активными чернилами / Лапина Е. А., Юсупова Ш. А., Чешкова А. В., Яминзода З.А., Штуканов М.Д. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. — 2025. — № 1 (415). — С. 152–158. — DOI: 10.47367/0021-3497\_2025\_1\_152. (Скопус)

[4-А] Юсупова Ш.А. Традиционные таджикские орнаменты и узоры иката в современном текстиле: сочетание культурного наследия в цифровых технологиях / Умарова А.С., Юсупова Ш.А. // Вестник Технологического университета Таджикистана. № 1 (60) 2025. — С. 92–97. — ISSN 2707-8000.

[5-А] Юсупова Ш.А. Разработка состава для предварительной катионизации целлюлозной ткани перед цифровой печатью активными красителями / Юсупова Ш.А., Одинцова О.И., Яминзода З.А., Козлова О.В., Анушервони Ш. // Вестник Технологического университета Таджикистана. — 2025. — № 3 (62). — С. 94–102. — ISSN 2707-8000.

[6-А] Юсупова Ш.А. Применение амфолитных поверхностно-активных веществ для интенсификации цифровой печати активными красителями по хлопчатобумажным тканям / Юсупова Ш.А., Одинцова О.И., Яминзода З. А., Козлова О. В., Анушервони Ш.// Вестник Технологического университета Таджикистана. 3 (62)2025. — С. 102–112. — ISSN 2707-8000.

[7-А] Юсупова Ш.А. Влияние подготовки хлопчатобумажных тканей на качество цифровой прямой струйной печати активными чернилами / Лапина Е.А., Юсупова Ш.А., Чешкова А.В., Яминзода З.А, Штуканов М.Д.// Изв. ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 1(415). - с. 152-157. DOI 10.47367/0021-3497\_2025\_1\_152. ISSN 0021-3497. (Скопус)

[8-А] Юсупова Ш.А. Современные методы цифрового проектирования для создания орнаментов и икатов в таджикском текстиле. / Юсупова Ш.А.,// Вестник Технологического университета Таджикистана. 1(64)2026— Душанбе. — С. 99-105. ISSN 2707-8000.

[9-А] Юсупова Ш.А. О валянии кошем как отрасли ремесленной деятельности таджиков /Юсупова Ш.А.// Вестник Технологического университета Таджикистана (Серия гуманитарных наук и профессиональной педагогики). 1(3) 2019. — С. 123–126.

[10-А] Юсупова Ш. А. Хусусиятҳои либоси мардонаи анъанавӣ ва камарбанди тоҷикони кӯхистон / Юсупова Ш. А., Умарова А. С., Азимова М.

Р. // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ «Амалигардонии саноаткунони босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамчун ҳадафи чоруми стратегияи миллӣ. — Душанбе, 2021. — Ҷ. 2. — С. 301–307.

[11-А] Юсупова Ш. А. Бофти хунароҳои халқӣ ва аҳамияти эҳёи онҳо дар шароити Тоҷикистони соҳибхитӣ / Юсупова Ш.А., Умарова А.С., Азимова М.Р. // Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ «Амалигардонии саноаткунони босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳамчун ҳадафи чоруми стратегияи миллӣ.— Душанбе, 2021. — Ҷ. 2. С.- 341 -343.

[12-А] Юсупова Ш.А. Анъанаҳои минтақавӣ дар маданияти либос. /Юсупова Ш.А.// Маводи конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалӣ «Ҳамбастагии илм бо истеҳсолот дар раванди саноаткунони босуръати Ҷумҳурии Тоҷикистон»— Душанбе, 2022. — Ҷ. 1. С.- 101-106.

[13-А] Юсупова Ш. А. Цифровая модификация абровых орнаментов для печати на хлопчатобумажных тканях с использованием текстильных принтеров /Юсупова Ш.А.// Материалы международной научно-практической конференции «Отечественный и зарубежный опыт при подготовке высококвалифицированных кадров для промышленных предприятий»— Ташкент, 2022. — Ҷ. 2. С – 119 – 122.

[14-А] Юсупова Ш. А. Дизайн будущего: одежда – трансформер /Юсупова Ш.А., Умарова А.С., Азимова М.Р.// Материалы республиканской научно-практической конференции «Взаимосвязь науки с производством в процессе ускоренной индустриализации Республики Таджикистан» 2022 г.- Душанбе, Ҷ. 1. С. - 48-49.

[15-А] Юсупова Ш.А. Цифровые технологии печати для воспроизведения русских ситцев 1880–1920 гг. / Юсупова Ш.А., Чешкова А.В., Яминзода З.А., Умарова А.С.// Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне»— Санкт-Петербург, 2023. — С. 72–75.

[16-A] Юсупова Ш.А. Народные промыслы и их возрождение в Таджикистане /Юсупова Ш.А.// Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий» (Материаловедение–2023).– Казань : Изд-во КНИТУ, 2023. – С. 35–36. – ISBN 978-5-7882-3330-7.

[17-A] Юсупова Ш.А. Этнокультурные традиционные бесшовные таджикские ткани икат с применением цифровой печати /Юсупова Ш.А.// Материалы международной конференции «Роль дуального образования в подготовке высококвалифицированных кадров для отраслевых предприятий» – Ташкент: ГИТиЛП, 2023.- С. – 313-115.

[18-A] Юсупова Ш.А. Этнографическое исследование традиционных техник текстильного ремесла в Таджикистане: анализ ткацких узоров, орнаментов, иката и инновационные подходы в контексте цифровой технологии /Юсупова Ш.А.// Инновационное развитие техники и технологий в промышленности: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. - Москва: РГУ им. А. Н. Косыгина, 2024. - Ч. 1. - С. 317 – 321. - ISBN 978-5-00181-572-3.

[19-A] Юсупова Ш.А. Практика цифровой печати на тканях с применением текстильных плоттеров / Чешкова А. В., Лапина Е. А., Умарова А. С., Юсупова Ш.А. // Материалы международной научно-практической конференции «Эффективность соотношения науки с производством в условиях ускоренной индустриализации» - Душанбе. 2024. — С. 143–152.

[20-A] Юсупова Ш.А. Оптимизация прямой цифровой печати на хлопчатобумажных тканях / Чешкова А. В., Лапина Е. А., Яминзода З. А., Юсупова Ш. А. // Материалы международной конференции «Научное сотрудничество в евразийском пространстве: цифровизация и модернизация промышленности с применением искусственного интеллекта». — Душанбе, 2025. — С. 205–212.

[21-А] Юсупова Ш.А. Цифровая трансформация текстильной промышленности Таджикистана: между традицией иката и современными технологиями / Юсупова Ш.А. // Материалы международного форума «Научное сотрудничество в Евразийском пространстве: цифровизация и модернизация промышленности с применением искусственного интеллекта»— Душанбе, 2025. — С. 219–220.

[22-А] Юсупова Ш.А. Инновационные методы подготовки специалистов по национальным тканям в условиях цифровизации в системе государственного управления / Умарова А.С., Юсупова Ш.А.// Материалы республиканской научно-теоретической конференции «Инновационные модели и механизмы государственного управления в условиях трансформации». — Душанбе, 2025. — С. 264–267.

[23-А] Юсупова Ш.А. Текстильная цифровая печать особенности и перспективы в таджикском текстиле / Ш.А. Юсупова, Анушервони Ш. // Материалы республиканской конференции «Научные инновации и изобретения в точных и инженерных науках как ключевой фактор устойчивого развития» Душанбе.- 2026 года). С. 258-262.

*Свидетельства на изобретение, патенты и акты внедрения:*

[24-А] Юсупова Ш.А., Яминзода З.А., Чешкова А.В., Одинцова О.И., Анушервони Ш. Способ предварительной катионизации целлюлозной ткани для цифровой печати активными красителями. Малый патент. № 2502114. Оpubл. 16.06.2025 г.

[А-25] Юсупова Ш.А. АКТ производственных испытаний цифровой печати оригинальных орнаментов “Икат” активными красителями на текстильном принтере. ОАО “Самойловский текстиль” (г. Иванова) 23.08.2023.

[А-26] Юсупова Ш.А. АКТ внедрения результатов научно - исследовательской работы по экспериментальной печати на хлопке сатинового плетения были успешно реализованы уникальные орнаменты,

созданные с помощью программного обеспечения Inkscape. Разработанные цифровые версии паттернов не потребовали дополнительной корректировки со стороны специалистов производства. Для создания бесшовного орнамента использовались паттерны «Икат» в двух вариантах: белоземельные (с площадью рисунка до 50 %) и «грунтовые» (с 100% покрытием поверхности ткани). ООО «Пилаи точик» г. Душанбе Исомуддинов М.Б. 20.09.2025.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Утверждаю  
 Директор отделочного производства  
 ОАО «Самойловский текстиль» (г. Иваново)  
 Кокшарова Н. Н.  
 23 \_\_\_\_\_ 2023 г.



**Акт  
 производственных испытаний  
 цифровой печати оригинальных орнаментов «Икат» активными красителями  
 на текстильном принтере.**

Сотрудниками кафедры ХТВМ ИГХТУ и кафедры «Дизайн костюма и искусства моды» Технологического университета Таджикистана (ТУТ) совместно с специалистами отделочного производства ОАО «Самойловский текстиль» ООО «Нордтекс» г.Иваново проведены производственные испытания печати орнаментов, разработанных с использованием цифровых технологий (программного продукта Inkscare) на подготовленной (отбеленной) хлопчатобумажной ткани шириной 220 см сатинового переплетения «Сатин-люкс» с поверхностной плотностью 119 г/м<sup>2</sup>. Перед цифровой печатью на текстильный материал нанесен состав, включающий щелочной реагент, загуститель, электролит.

Созданные цифровые версии паттернов не требовали корректировок со стороны специалистов производства. Для создания бесшовного орнамента использованы паттерны «Амиридин» в виде белоземельных версий бесшовного текстильного орнамента (с площадью рисунка до 50 %) и «грунтовых» версий (для 100% текстильной печатью по площади):



Печать осуществлялась методом цифровой струйной прямой печати на цифровом принтере Mimaki MS JPK активными чернилами (cyan, magenta, yellow, black, blue, red) с последующей фиксацией при температуре 102-105 °С в аппарате зрельника, промывкой в аппарате (4 прохода по секциям: холодной вода, мыловка при 85 °С, горячая вода 60 °С, ) и заключительной отделкой на линии «Элитекс».

Произведена оценка цветовых характеристик тканей и оптимизация параметров цифровой печати в зависимости от масштаба орнамента, яркости и контрастности. Установлено, что уменьшение яркости и контрастности по отношению к цифровому оригиналу приводит к ухудшению качества печатного рисунка, а увеличение контрастности до 5% и яркости до 10% обеспечивает четкость контура рисунка и проявление цветовых переходов и мелких деталей орнамента.

Для представленного цифрового оригинала паттерна в размере файла 1773 точки на ширину и 2213 точки в высоту при разрешении 1000 точек на дюйм по обеим осям его фактический печатный размер составил 4,4 см в ширину и 5,6 в высоту. Показано, что при уменьшении масштаба в два раза происходит снижение качества печати с искажением четкости и орнаментации, сглаживание и нивелирование мелких деталей рисунка, проявление линейчатости орнаментации. При увеличении масштаба в 2-3 раза отмечается сохранение четкости контура рисунка, мелких его элементов, цвета. При увеличении масштаба более чем в 4 раза, отмечено сохранение цветопередачи, но изменение (снижение) четкости контура рисунка (специфических контуров рисунка «икат»). Большое масштабирование рисунка в 5-10 раз требует корректировки цифрового оригинала с увеличением разрешения изображения до 2000 точек на дюйм.

В испытаниях участвовали:

Начальник печатного цеха:  
  
  
 22 августа 2023 г.

от Технологического университета  
 Таджикистана: Юсупова Ш.А.,  
 Анушервони Ш., Яминзода З.А.  
 от ФГБОУ ИГХТУ:  
 Чешкова А.В. Лапина Е.А.\*

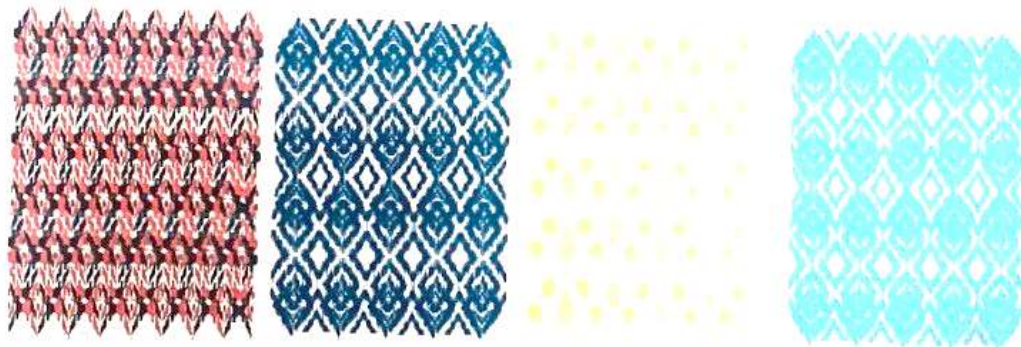


“УТВЕРЖДАЮ”  
 Генеральный директор ООО  
 “Пилаи тоҷик” г. Душанбе  
 Гафуров С.М.  
 2025г

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

### результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся представители Технологического университета Таджикистана, соискатель кафедры дизайн одежды и искусство моды Юсупова Ш.А.; д.т.н., профессор кафедры технологии текстильных изделий Яминзода З.А.; и главный инженер ООО “Пилаи тоҷик” г. Душанбе Исомуддинов М.Б. с другой стороны, составили настоящий акт в том, что в результате внедрено, работа по экспериментальной печати на хлопке сатинового плетения были успешно реализованы уникальные орнаменты, созданные с помощью программного обеспечения Inkscape. Разработанные цифровые версии паттернов не потребовали дополнительной корректировки со стороны специалистов производства. Для создания бесшовного орнамента использовались паттерны «Икат» в двух вариантах: белоземельные (с площадью рисунка до 50 %) и «трунтовые» (с 100% покрытием поверхности ткани).



Была проведена оценка цветовых характеристик тканей и оптимизация параметров цифровой печати с учетом масштаба орнамента, а также показателей яркости и контрастности. Установлено, что снижение яркости и контрастности по сравнению с цифровым оригиналом ухудшает качество печатного рисунка. В то же время увеличение контрастности до 5% и яркости до 10% способствует повышению четкости контуров, а также улучшает передачу цветовых переходов и мелких деталей орнамента.

Для представленного цифрового оригинала паттерна в размере файла 1773 точки на ширину и 2213 точки в высоту при разрешении 1000 точек на дюйм по обеим осям его фактический печатный размер составил 4,4 см в

ширину и 5,6 в высоту. Показано, что при уменьшении масштаба в два раза происходит снижение качества печати с искажением четкости и орнаментации, сглаживание и нивелирование мелких деталей рисунка, проявление линейчатости орнаментации. При увеличении масштаба в 2-3 раза отмечается сохранение четкости контура рисунка, мелких его элементов, цвета. При увеличении масштаба более чем в 4 раза, отмечено сохранение цветопередачи, но изменение (снижение) четкости контура рисунка (специфических контуров рисунка «икат»). Большее масштабирование рисунка в 5-10 раз требует корректировки цифрового оригинала с увеличением разрешения изображения до 2000 точек на дюйм.

От ТУТ

соискатель  
Ш.А

Юсупова

От ООО

“Пилаи тоҷик” г. Душанбе  
гл. инженер Исомудниев

М.Б.

Профессор кафедры “ТТИ”

Ямнизода З.А.

Доцент кафедры “ДИЗО”

Анушервоини Ш.